

ఐజాక్ అసిమోవ్
రాసిన
'ఎలా తెలుసుకున్నాం'
32 పుస్తకాలు చదవండి !!



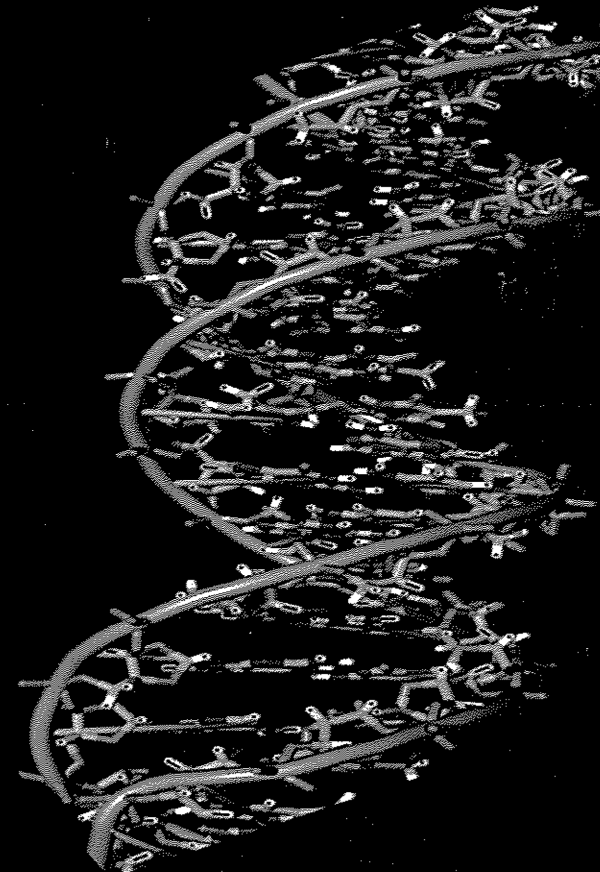
ISBN 978-93-80153-06-3

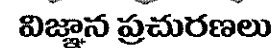
ఎలా తెలుసుకున్నాం? -22

# డిఎన్ఎ

ఐజాక్ అసిమోవ్

అనువాదం
డా॥ వి. శ్రీనివాస చక్రవర్తి





విజ్ఞాన ప్రచురణలు



మంచి పుస్తకం

*ఎలా తెలుసుకున్నాం? - 22*

# డిఎన్ఏ

**ఐజాక్ అసిమోవ్**

అనువాదం : డా|| వి. శ్రీనివాస చక్రవర్తి



విజ్ఞాన ప్రచురణలు



మంచి పుస్తకం

How Did We Find Out About DNA? by Isaac Asimov

ఎలా తెలుసుకున్నాం? - 22

**డిఎన్ఎ**

రచయిత : ఐజాక్ అసిమోవ్

అనువాదం : డా॥ వి. శ్రీనివాస చక్రవర్తి

మొదటి మూడు ముద్రణలు : 2009, 2012, 2017

నాలుగవ ముద్రణ : సెప్టెంబర్, 2018

ప్రతుల సంఖ్య : 1000

**వెల : రూ. 25/-**

ISBN No. 978-93-80153-12-4

ప్రచురణ, ప్రతులకు :

**విజ్ఞాన ప్రచురణలు**

**ప్రజా సైన్స్ వేదిక**

జి. మాల్యాద్రి, ప్రచురణల విభాగం

162, విజయలక్ష్మీనగర్, నెల్లూరు - 524 004,

ఫోన్: 94405 03061

**మంచి పుస్తకం**

12-13-439, వీధి నెం. 1,

తార్నాక, సికింద్రాబాద్ - 500 017.

ఫోను: 94907 46614

email: info@manchipustakam.in

website: www.manchipustakam.in

ముద్రణ :

చరిత ఇంప్రెషన్స్,

1-9-1126/బి, అజామాబాద్,

హైదరాబాద్-20. ఫోన్: 040-2767 8411

# 1. న్యూక్లిక్ ఆసిడ్‌లోని అంశాలు

1869లో జర్మన్ రసాయన శాస్త్రవేత్త అయిన ఎర్నెస్ట్ ఫెలిక్స్ హోపే-సెయ్లర్ (1825-1895) కి చెందిన ప్రయోగశాలలో ఇరవై అయిదేళ్ళ స్విస్ రసాయన శాస్త్రవేత్త యోహాన్ ఫ్రీడ్రిక్ మీషర్ (1844-1895) పనిచేస్తున్నాడు.

జీవం పోయిన, చితికిపోయిన కణాలతో పని చేస్తున్నాడు మీషర్. వృక్ష, జంతు సమూహాలన్నీ కణాలు అనే చిన్న చిన్న అంశాల సముదాయాలే.

కణాలలో ఉండే పదార్థాలని అర్థం చేసుకోడానికి ఆ రోజుల్లో శాస్త్రవేత్తలు విశ్వ ప్రయత్నం చేస్తున్నారు. మీషర్ కూడా అలాంటి ప్రయత్నం లోనే ఉన్నాడు. కణాలలో అత్యంత సంక్లిష్టమైన ప్రోటీన్ అణువులు ఉంటాయని మీషర్‌కి తెలుసు. కాని ఆ అణువులని బద్దలుకొట్టి అందులోని అంశాలని తెలుసుకోవాలని మీషర్ ప్రయత్నం.

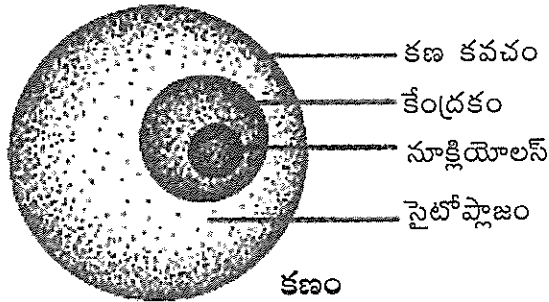
అతడు శోధిస్తున్న పదార్థానికి మీషర్ పెప్సిన్ అనే ఎంజైమ్‌ని కలిపాడు. ఎంజైమ్ అంటే రసాయన చర్యలని త్వరితం చేయగల ఒక పదార్థం. పెద్ద పెద్ద ప్రోటీన్ అణువులని చిన్న చిన్న అంశాలుగా పెప్సిన్ విడగొడుతుంది. కాని పెప్సిన్ ప్రభావానికి లోనుకాని ఎన్నో అణువులు కణాలలో ఉండడం గమనించాడు మీషర్.

ప్రతి కణ కేంద్రంలో కేంద్రకం అని ఒక చిన్న నిర్మాణం ఉంటుంది. ఈ కేంద్రకం చుట్టూ ఒక సన్నని పొర ఉంటుంది. ఈ కేంద్రకంలోని కొన్ని అణువులు పెప్సిన్ ప్రభావానికి లోను కావడం లేదు.

పెప్సిన్ ప్రభావానికి లోను కాని పదార్థాన్ని వేరు చేశాడు మీషర్. అందులో ఎలాంటి పరమాణువులు ఉన్నాయో తెలుసుకోవాలని వివిధ రసాయన పద్ధతులతో దాన్ని విశ్లేషించడం మొదలుపెట్టాడు. అందులో ఫాస్ఫరస్ (భాస్వరం) పరమాణువులు ఉన్నాయని తెలుసుకుని

ఆశ్చర్యపోయాడు.

ఫాస్ఫరస్ అంత అరుదైన పరమాణువు ఏమీ కాదు. కాని సహజ పరిస్థితులలో అది రాయిలో దొరుకుతుంది. అంతవరకు జీవపదార్థంలో ఫాస్ఫరస్ ఉన్న రసాయన సంయోగాలలో మనకి తెలిసిన సంయోగం ఒక్కటే. అది లెసితిన్ అనే కొవ్వు పదార్థం. దాన్ని మీషర్ గురువు అయిన హోపే-సెయ్లర్ కనుక్కున్నాడు.



కణం

తాను కనుక్కున్న కొత్త పదార్థం కేంద్రకంలో దొరికింది కాబట్టి మీషర్ దానికి న్యూక్లీన్ అని పేరు పెట్టాడు.

మీషర్ తన ప్రయోగ ఫలితాలని తీసుకెళ్ళి హోపే-సెయ్లర్‌కి చూపించాడు. బాగా అనుభవం గల ఆ రసాయన శాస్త్రవేత్త వెంటనే ఆ ఆవిష్కరణని లోకానికి చాటొద్దని కుర్ర రసాయన శాస్త్రవేత్తకి సలహా ఇచ్చాడు. ఎక్కడైనా ఏదైనా పొరబాటు జరిగిందేమో అన్న సందేహాన్ని వ్యక్తం చేస్తూ తానే ఆ ప్రయోగ వ్యవహారాన్ని జాగ్రత్తగా పరీక్షిస్తానన్నాడు.

రెండేళ్ళపాటూ అత్యంత శ్రద్ధతో హోపే-సెయ్లర్ ఆ విషయాన్ని శోధించాడు. చివరికి ఈస్ట్ కణాలలో ఇంచుమించు అలాంటి పదార్థమే తనకీ దొరికిందని నిర్ధారించుకున్నాడు.

మీషర్ కనుక్కున్న పదార్థానికి తనకి దొరికిన పదార్థానికి కొంచెం తేడా ఉందని గుర్తించాడు. అందుకే రెండు పదార్థాలకీ వేరు వేరు పేర్లు



పెట్టారు. మీషర్ కనుక్కున్న పదార్థాన్ని జంతువులలో ఉండే థైమస్ గ్రంథి నుండి తేలికగా వెలికి తీయొచ్చు. అందుకే దానికి థైమస్ న్యూక్లీన్ అని పేరు పెట్టారు. హోపే-సెయ్లర్ కనుక్కున్న పదార్థాన్ని ఈస్ట్ కణాల నుండి తీయొచ్చు కాబట్టి దానికి ఈస్ట్ న్యూక్లీన్ అని పేరు పెట్టారు.

హోపే-సెయ్లర్‌కి ఆల్బ్రెక్ట్ కోసెల్ (1853-1927) అని మరో శిష్యుడు ఉన్నాడు. 1879లో ఇతడు మీషర్ కనుక్కున్న న్యూక్లీన్‌ని శోధించడం మొదలుపెట్టాడు.

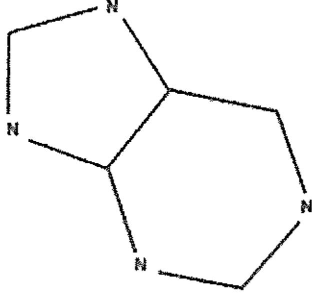
సాల్మన్ అనే చేపకి చెందిన శుక్ర కణాల నుండి కూడా న్యూక్లీన్ పదార్థాన్ని తీయొచ్చని మీషర్ కనుక్కున్నాడు. ఆ న్యూక్లీన్ ఒక సరళమైన ప్రోటీన్ అణువుకి అతుక్కుని ఉండడాన్ని గుర్తించాడు. ఆ ప్రోటీన్‌కి ప్రోటమిన్ అని పేరు పెట్టాడు. రెండిటినీ తేలికగా వేరు చేయొచ్చు. న్యూక్లీన్‌కి ప్రోటీన్‌కి మధ్య సంబంధం ఏమిటో తేల్చుకోవాలని అనుకున్నాడు కోసెల్.

అయితే కోసెల్ కనుక్కున్న న్యూక్లీన్ మీషర్ కనుక్కున్న ప్రోటీన్ అయిన ప్రోటమీన్ కన్నా మరి కాస్త సంక్లిష్టమైన ప్రోటీన్‌కి అతుక్కుని ఉండడం గమనించాడు. ఈ కొత్త ప్రోటీన్‌కి హిస్టోన్ అని పేరు పెట్టాడు. హిస్టోన్ అన్నది గ్రీకు భాషలో కణం అన్న అర్థం గల పదం నుండి వచ్చింది. ఈ న్యూక్లీన్, ప్రోటీన్‌ల కలయికకే న్యూక్లియో ప్రోటీన్ అని పేరు పెట్టారు.

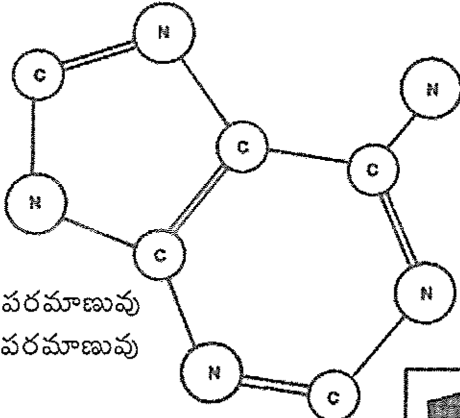
హిస్టోన్‌ని న్యూక్లీన్ నుండీ వేరు చెయ్యడం అంత తేలిక కాదని తెలుసుకున్నాడు కోసెల్. న్యూక్లీన్ ఆమ్లం మాదిరిగా, హిస్టోన్ క్షారం మాదిరిగా ప్రవర్తించడం వల్ల ఈ రెండూ అంత గాఢంగా అతుక్కుపోతాయి. ఆమ్లాలు, క్షారాలు ఎప్పుడూ పరస్పరం చురుగ్గా రసాయనచర్యలు జరుపుకుంటాయి. ఆమ్లాన్ని పోలిన ప్రవర్తన ఉండటం వల్ల న్యూక్లీన్‌కి న్యూక్లిక్ ఆసిడ్ అని పేరు పెట్టారు. అందులో ప్రత్యేక వైవిధ్యాలని బట్టి థైమస్ న్యూక్లిక్ ఆసిడ్, యీస్ట్ న్యూక్లిక్ ఆసిడ్ వంటి పేర్లు కూడా బయలుదేరాయి.

ఆ రోజుల్లో న్యూక్లిక్ ఆసిడ్ అణువులు ఎలా ఉంటాయో, వాటిలో

పరమాణువులు ఎలా ఉంటాయో ఎవరికీ తెలియదు. ఆ విషయం తెలుసుకోవడానికి ఆ అణువులని రసాయన పద్ధతులు ఉపయోగించి చిన్న చిన్న ముక్కలు చెయ్యాలని నిర్ణయించుకున్నాడు కోసెల్.

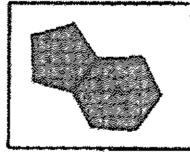



ఈ పటంలో హైడ్రోజన్ పరమాణువులను చూపలేదు




N= నత్రజని పరమాణువు
C= కార్బన్ పరమాణువు

ప్యూరీన్లు



అడెనీన్

ఆ చిన్న చిన్న ముక్కలు బహుశ రసాయన శాస్త్రవేత్తలకి ముందే తెలిసిన అణువులు కావచ్చునేమోనని అతడి ఆశ. కొన్నిటిలో జంట వలయాల పరమాణువులు ఉన్నాయి. ఈ జంట వలయాల అణువులో ఐదు పరమాణువులు ఉన్న వలయం ఒకటి, ఆరు పరమాణువులు ఉన్న వలయం ఒకటి ఉన్నాయి. రెండు వలయాలకి మధ్యస్థంగా రెండు పరమాణువులు ఉన్నాయి. జంట వలయాలలో ప్రతి కోణం వద్దా ఒక పరమాణువు ఉంది.

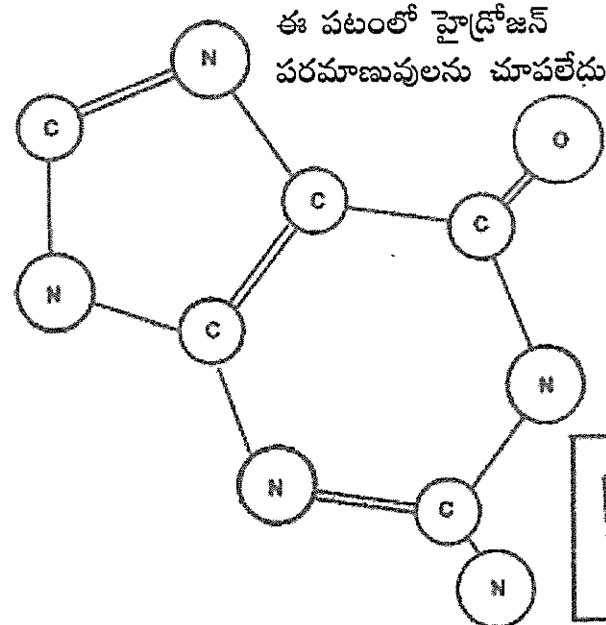


లెక్కపెడితే సరిగ్గా తొమ్మిది కోణాలు ఉన్నాయని తెలుస్తుంది. కాబట్టి తొమ్మిది కోణాల వద్ద తొమ్మిది పరమాణువులు ఉన్నాయన్నమాట. వాటిలో నాలుగు పరమాణువులు నైట్రోజన్ పరమాణువులు. చిత్రంలో వాటిని 'N' అక్షరంతో సూచించారు. తక్కిన పరమాణువులు అన్నీ కార్బన్ పరమాణువులు. వాటిని అక్షరంతో సూచించారు.

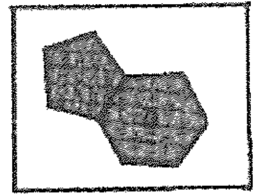
అలా రెండు వలయాలు ఉన్న అణువు గల సంయోగం ప్యూరీన్ అన్న పేరుతో రసాయన శాస్త్రవేత్తలకి అంతకు ముందే తెలుసు. అయితే అలాంటి ప్యూరీన్‌లు ఎన్నో ఉన్నాయి. ఎందుకంటే వాటి వలయాలకి వివిధ స్థానాల వద్ద నుండి మరిన్ని ఉపమాలలు వేలాడే అవకాశం ఉంది. ఉపమాలలలో ఉండే తేడాలని బట్టి ప్యూరీన్‌లలో తేడాలు ఉంటాయి.

రసాయన శాస్త్రవేత్తలు అంతకు ముందే కొన్ని ప్యూరీన్లని అధ్యయనం చేశారు. కాని,వాళ్ళకి తెలియని రెండు కొత్త ప్యూరీన్లని కోసెల్ కనుక్కున్నాడు. ప్రతి న్యూక్లిక్ ఆసిడ్‌లోను ఈ ప్యూరీన్లు ఉన్నట్లు తెలిసింది. వాటిలో ఒకదాని

ఈ పటంలో హైడ్రోజన్ పరమాణువులను చూపలేదు

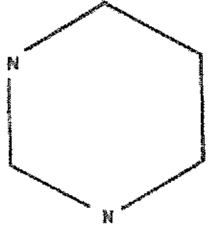



గువనీన్

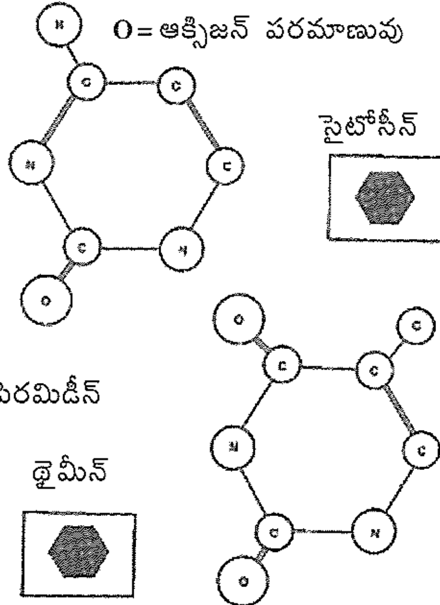


పేరు అడెనీన్, రెండవ దాని పేరు గువనీన్. అడెనీన్‌లో ఒక అదనపు నైట్రోజన్ పరమాణువు ఉంటుంది. గువనీన్‌లో ఒక నైట్రోజన్ పరమాణువుతోబాటు ఒక ఆక్సిజన్ పరమాణువు కూడా ఉంటుంది. న్యూక్లిక్ ఆసిడ్ ప్రసక్తి వచ్చినప్పుడు ఈ అడెనీన్, గువనీన్‌ల ప్రస్తావన తరచు వస్తూ ఉంటుంది. కొన్ని సార్లు వాటి పూర్తి పేర్లకి బదులు మొదటి అక్షరాలని మాత్రం వాడుతూ ఉంటారు. అడెనీన్‌ని 'A' తోను, గువనీన్‌ని 'G' తోను వ్యవహరిస్తూ ఉంటారు.

న్యూక్లిక్ ఆసిడ్‌లో ప్యూరీన్ల కన్నా చిన్న అంశాలని కోసెల్ సాధించాడు. ఈ అంశాలలో ఆరు పరమాణువులు ఉన్న ఏకైక వలయం ఉంది. అంటే ఇది ప్యూరీన్లలో ఉండే ఆరు పరమాణువుల వలయం లాంటిదే, ఐతే ఐదు పరమాణువుల వలయం లోపించింది అన్నమాట.




ఈ పటంలో హైడ్రోజన్ పరమాణువులను చూపలేదు

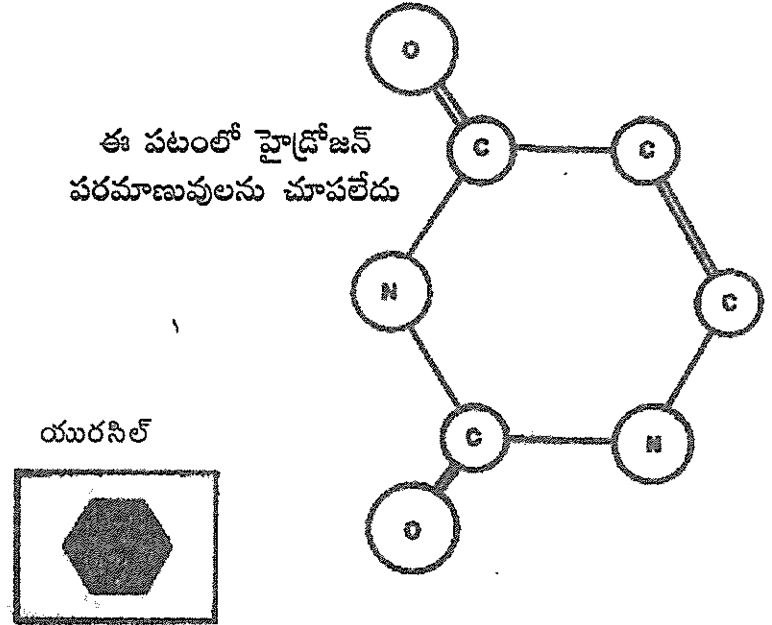





ఈ కొత్త వలయానికి పిరమిడీన్ అని పేరు పెట్టారు. ఈ పిరమిడీన్‌లలో కూడా వివిధ స్థానాల వద్ద ఉపమాలలు ఉంటాయి.

థైమస్ న్యూక్లిక్ ఆసిడ్‌లో రెండు పిరమిడీన్లు ఉన్నట్లు కోసెల్ కనుక్కున్నాడు. వాటిలో ఒకటి సైటొసీన్, రెండవది థైమీన్. ఈ సైటొసీన్, థైమీన్‌లని కూడా తరచు వాటి మొదటి అక్షరాలతో 'C' అని, 'T' అని వ్యవహరిస్తూ ఉంటారు. ఒకే వలయం ఉన్న పిరమిడీన్లు రెండు వలయాలు ఉన్న ప్యూరీన్ల కన్నా చిన్నవి కాబట్టి వీటిని చిన్న అక్షరాలైన 'c', 't' లతో వ్యవహరిస్తున్నాను.

ఆ విధంగా కొంత కాలానికి థైమస్ న్యూక్లిక్ ఆసిడ్‌కి, ఈస్ట్ న్యూక్లిక్ ఆసిడ్‌కి మధ్య తేడా ఏమిటో తెలిసింది. రెండింటిలోను రెండు ప్యూరీన్లు (అడెనీన్, గువనీన్), రెండు పిరమిడీన్లు (సైటొసీన్, థైమీన్) ఉంటాయి. థైమస్ న్యూక్లిక్ ఆసిడ్‌లో మాత్రం ఒక్క థైమీన్ మాత్రమే ఉంది. అసలు థైమీన్‌కి అందుకే అలా పేరు వచ్చింది. ఈస్ట్ న్యూక్లిక్ ఆసిడ్‌లో వేరే పిరమిడీన్



ఉంది. ఇది కొంచెం థైమీన్ లాంటిదే కాని కొన్ని తేడాలు ఉన్నాయి. ఈ కొత్త పిరమిడీన్‌కి యురసిల్ అని పేరు. దీన్ని దాని మొదటి అక్షరమైన 'U'తో వ్యవహరించవచ్చు. థైమీన్‌లో ఒక అదనపు కార్బన్ పరమాణువు ఉండడమే థైమీన్‌కి యురసిల్‌కి మధ్య తేడా.

న్యూక్లిక్ ఆసిడ్ల మీద చేసిన కృషికి, మరి ఇతర పరిశోధనలకి గుర్తింపుగా 1910లో కోసెల్‌కి జీవక్రియాశాస్త్రంలోను, వైద్యశాస్త్రంలోను నోబెల్ పురస్కారం లభించింది.

అయితే న్యూక్లిక్ ఆసిడ్లలో ప్యూరీన్లు, పిరమిడీన్లు మాత్రమే కాకుండా కోసెల్ కనుక్కోని ఇతర అంశాలు కూడా ఉన్నాయి. ఈ ఇతర అంశాలకి సరళమైన చక్కెర అణువులని పోలిన అణునిర్మాణం ఉన్నట్లు అనిపించింది. కాని ఈ విషయాన్ని కచ్చితంగా తేల్చుకోలేక పోయాడు.

ఫోబస్ ఆరన్ థియోడోర్ లెవీన్ (1869-1940) అనే రష్యన్-అమెరికన్ రసాయన శాస్త్రవేత్త రసాయన శాస్త్రం నేర్చుకోడానికి జర్మనీ వెళ్ళాడు. అక్కడ కోసెల్‌తో పని చేశాడు. కోసెల్ సంపర్కం వల్ల లెవీన్ ధ్యాస న్యూక్లిక్ ఆసిడ్ల మీదకి మళ్ళింది.

అమెరికాకి తిరిగి వచ్చాక న్యూక్లిక్ ఆసిడ్ల పరిశోధనకి తన యావత్ జీవితాన్ని అంకితం చెయ్యాలని అనుకున్నాడు.

ఈస్ట్ న్యూక్లిక్ ఆసిడ్ అణువులని ఛిద్రం చేసి దాని అంశాలలో కోసెల్ ఊహించినట్టే చక్కెర అణువులు ఉన్నట్లు కనుక్కున్నాడు.

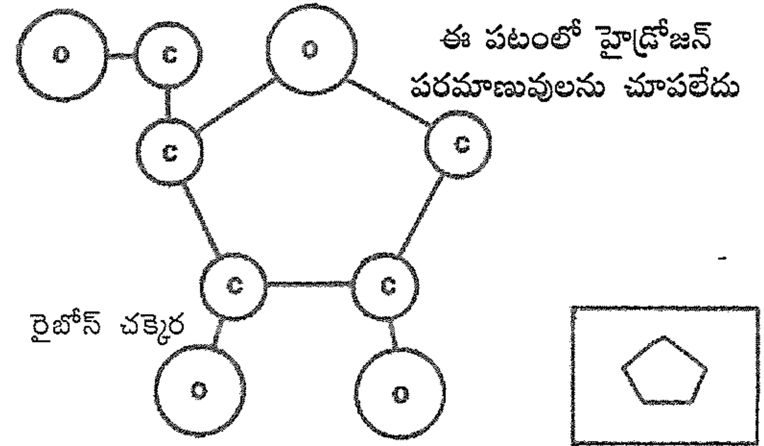
రసాయన శాస్త్రవేత్తలకి అంతవరకు జీవ పదార్థంలో దొరికిన సరళమైన చక్కెరలలో ఆరు కార్బన్ పరమాణువులే ఉన్నట్లు కనిపించింది. కాని లెవీన్ కనుక్కున్న అణవులో ఐదు కార్బన్ పరమాణువులు ఉన్నట్లు తెలిసింది. ఈ అణవులో ఐదు కార్బన్లతోపాటు, పది హైడ్రోజన్లు, ఐదు ఆక్సిజన్లు కూడా ఉన్నాయి.

అయితే అందులో ఏమున్నాయో తెలిసినంత మాత్రాన సరిపోదు.



అలాంటి పరమాణు కూటమి గల ఎనిమిది వివిధ అణువిన్యాసాలని ఊహించడానికి వీలవుతుంది. అలా తయారైన ప్రతి చక్కెరకీ కొంచెం భిన్నమైన లక్షణాలు ఉంటాయి. వీటిలో మరి ఈస్ట్ న్యూక్లిక్ ఆసిడ్ నుండి వచ్చిన చక్కెర విన్యాసం ఏమిటో తెలుసుకునే సమస్య ఇప్పుడు లెవీన్ నెత్తిన పడింది.

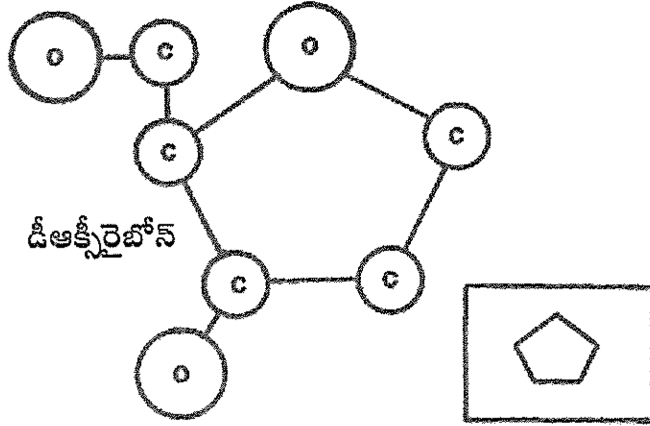
1909లో ఆ చక్కెర ఏమిటో కనుక్కున్నాడు లెవీన్. రసాయన శాస్త్రవేత్తలు ఈ చక్కెరను రైబోస్ అని పిలుస్తున్నారు. దీన్ని సంక్షిప్తంగా 'rib' అని పిలుచుకుందాం.




అయితే థైమస్ న్యూక్లిక్ ఆసిడ్ శోధనలో మాత్రం లెవీన్‌కి చాలా చిక్కులు ఎదురయ్యాయి. దాని అంశాలలో కూడా ఐదు కార్బన్ల చక్కెర ఉంది. అయితే థైమస్ న్యూక్లిక్ ఆసిడ్‌లో ఉండే ఐదు కార్బన్ల చక్కెర అంతకు ముందు రసాయన శాస్త్రవేత్తలకి తెలిసిన ఏ చక్కెరతోను సరిపోలేదు.

ఈ కొత్త ఐదు కార్బన్ల చక్కెర విలక్షణత ఏమిటో 1929 వరకు లెవీన్‌కి అర్థం కాలేదు. అణువు విన్యాసంలో అది అచ్చం రైబోస్‌లాగానే ఉంది, అయితే ఒక ఆక్సిజన్ పరమాణువు లోపించింది. రసాయన శాస్త్రవేత్తలు అంతకు ముందెన్నడూ అలాంటి చక్కెరని చూడలేదు. అలాంటి చక్కెరని శోధించిన ప్రథముడు లెవీన్. అందుకే కొంచెం ఇబ్బంది పడ్డాడు.

ఈ కొత్త చక్కెరకి లెవీన్ డీఆక్సీ రైబోస్ అని పేరు పెట్టాడు. డీఆక్సీ అంటే లాటిన్‌లో 'ఆక్సిజన్ లేని' అని అర్థం. దీన్ని సంక్షిప్తంగా 'derib' అని పిలుచుకుందాం.

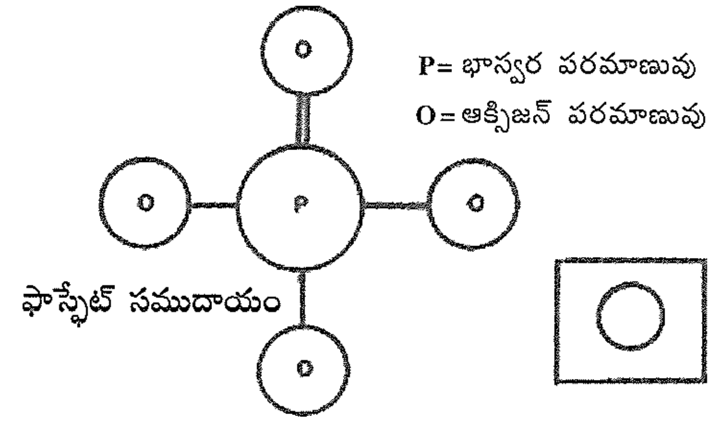



కాబట్టి న్యూక్లిక్ ఆసిడ్లలో రెండు జాతులని తీసుకుంటే, ఈస్ట్ న్యూక్లిక్ ఆసిడ్‌లో రైబోస్, యురసిల్ అణువులు, థైమస్ న్యూక్లిక్ ఆసిడ్‌లో డీఆక్సీ రైబోస్, థైమీన్ అణువులు ఉన్నట్లు తేలింది.

యురసిల్, థైమీన్‌ల మధ్య తేడా కన్నా, డీఆక్సీ రైబోస్‌కి, రైబోస్‌కి మధ్య తేడాయే ముఖ్యం అని రసాయన శాస్త్రవేత్తలు తేల్చుకున్నారు. కాబట్టి ఈస్ట్ న్యూక్లిక్ ఆసిడ్‌ని రైబో న్యూక్లిక్ ఆసిడ్ అని, థైమస్ న్యూక్లిక్ ఆసిడ్‌ని డీఆక్సీ రైబో న్యూక్లిక్ ఆసిడ్ అని పిలవడం మొదలుపెట్టారు. చాంతాడంత ఉన్న ఈ పేర్లని రాయాలన్నా, పలకాలన్నా ఇబ్బందిగా ఉందని గుర్తించి వీటిని ముద్దుగా మొదటి అక్షరాలతో డిఎన్ఏ అని ఆర్ఎన్ఏ అని పిలవడం మొదలుపెట్టారు.

న్యూక్లిక్ ఆసిడ్ అణువులో పరమాణువులన్నీ ఎలా ఏర్పాటై ఉంటాయో లెవీన్ ఊహించాడు. ప్యూరీన్లు, పిరమిడీన్లు రైబోస్‌కి గాని, డీఆక్సీ రైబోస్‌కి గాని తగిలించి ఉంటాయి. ఆ కూటమి ఒక ఫాస్ఫేట్ సముదాయానికి





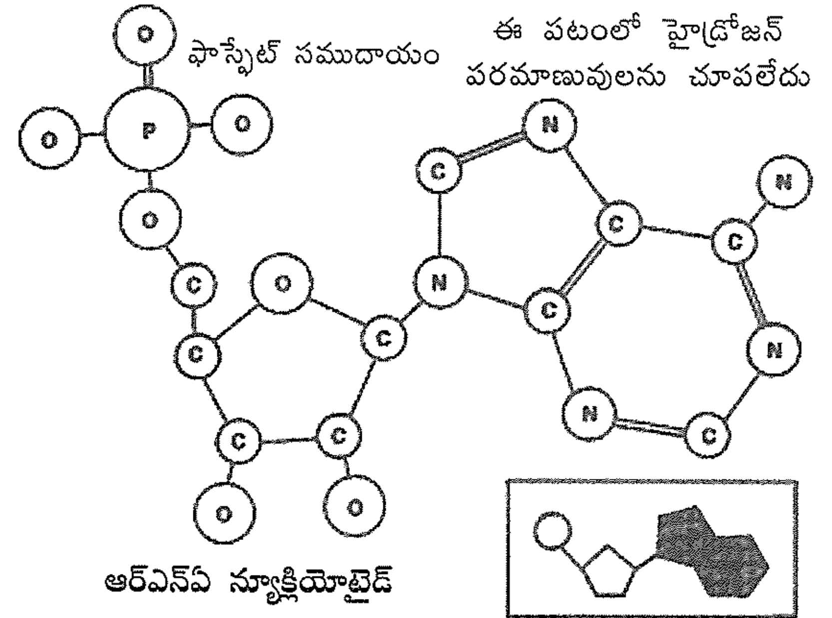

తగిలించబడి ఉంటుంది.

ఆర్ఎన్ఏ అణువులో విన్యాసం ఈ విధంగా ఉంటుంది:

A−rib−ph

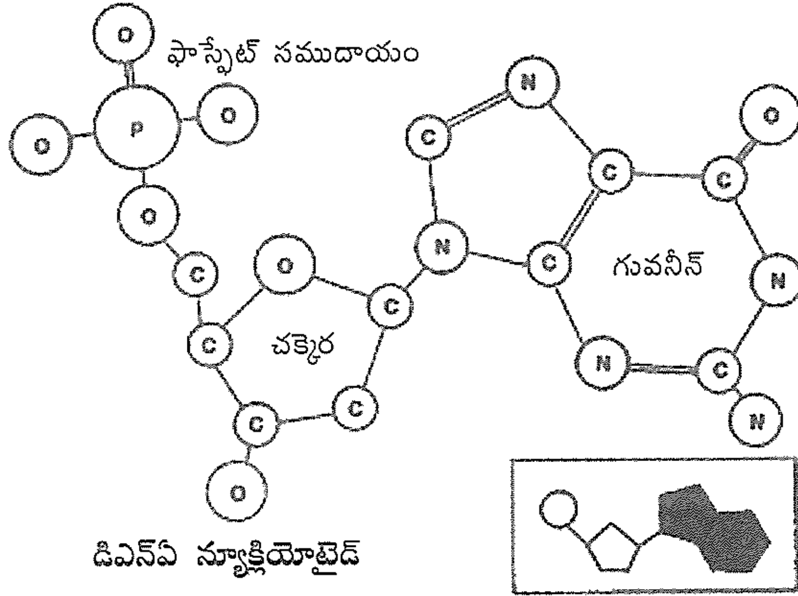
డిఎన్ఏ అణువులో విన్యాసం ఈ విధంగా ఉంటుంది:

A−derib−ph



రెండు సందర్భాలలోను అలాంటి కూటమికి న్యూక్లియోటైడ్ అని పేరు పెట్టారు.

ఆర్ఎన్ఏ అణువులో నాలుగు రకాల న్యూక్లియోటైడ్లు ఉంటాయి. వాటిలో ఒక దాంట్లో 'అడెనీన్' ఉంటుంది. మిగతా మూడింటిలో గువనీన్, సైటోసిల్, యురసిల్‌లు ఉంటాయి. డిఎన్ఏ అణువులో నాలుగు రకాల




డిఎన్ఏ న్యూక్లియోటైడ్

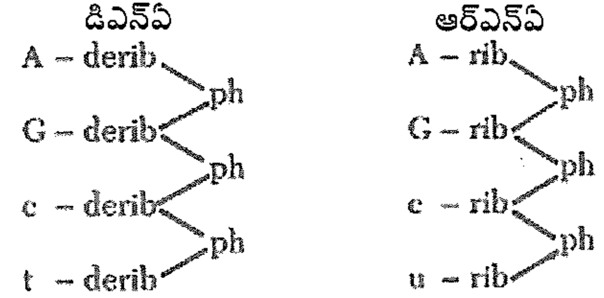
న్యూక్లియోటైడ్‌లు ఉంటాయి. అవి అడెనీన్, గువనీన్, సైటొసిన్, థైమీన్‌లు.

ఒక పరమాణువు పరిమాణాన్ని కొలిచే పద్ధతులు కొన్ని ఉన్నాయి. కణాల నుండి వచ్చిన న్యూక్లిక్ ఆసిడ్ల పరిమాణాన్ని కొలిచాడు లెవీన్. ఒక్కొక్క అణువు ఎంత పెద్దగా ఉందంటే అందులో కనీసం నాలుగు న్యూక్లియోటైడ్‌లు ఉన్నట్లు తెలిసింది. ఈ న్యూక్లియోటైడ్లు అన్నీ ఒక గొలుసుకట్టులా కలిసి ఉన్నాయి. ఆ గొలుసుకట్టులో ఒక న్యూక్లియోటైడ్‌లోని ఫాస్ఫేట్ సముదాయానికి, దాని పక్క న్యూక్లియోటైడ్‌లోని రైబోస్ (లేదా డీఆక్సీరైబోస్)తో బంధం ఏర్పడి ఉంటుంది.

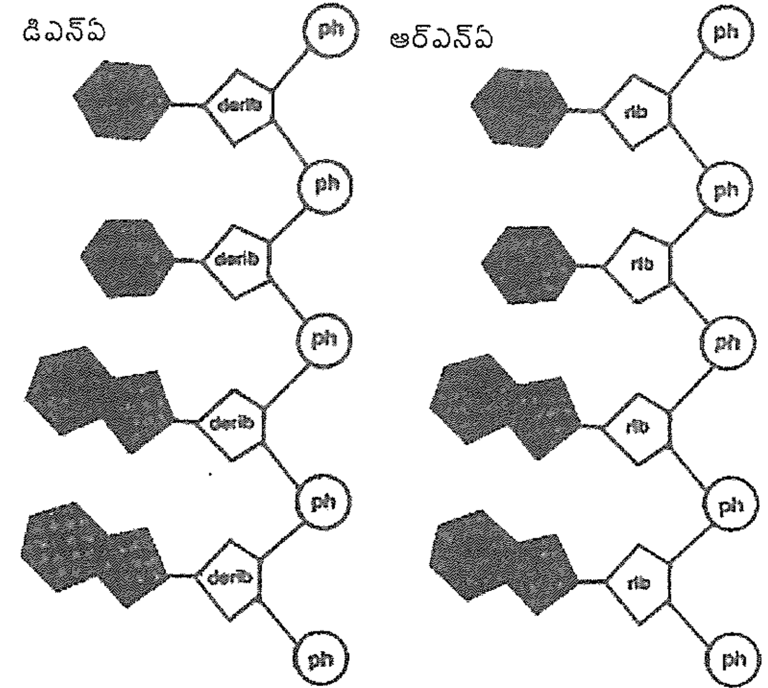


అలా కూటమిగా ఏర్పడ్డ నాలుగు న్యూక్లియోటైడ్ల కూటమిని టెట్రాన్యూక్లియోటైడ్ అంటారు. టెట్రా అంటే గ్రీకులో నాలుగు అని అర్థం.

డిఎన్ఏ టెట్రాన్యూక్లియోటైడ్, ఆర్ఎన్ఏ టెట్రాన్యూక్లియోటైడ్‌ల అమరిక ఈ కింద విధంగా ఉంటుంది:




న్యూక్లియోటైడ్ ఏదైనా derib–ph యొక్క, rib–ph యొక్క విన్యాసం




డిఎన్ఏ, ఆర్ఎన్ఏల టెట్రాన్యూక్లియోటైడ్లు

ఒకేలా ఉంటుంది కాబట్టి, ఈ టెట్రాన్యూక్లియోటైడ్ల విన్యాసాన్ని ఇంకా సరళంగా (ముందు పేజీలో బొమ్మలా) ప్రదర్శించవచ్చు.

న్యూక్లియోటైడ్ల విన్యాసం గురించి లెవీన్ చెప్పింది నిజమని నిర్ధారించుకోవాలంటే ముందు సరళమైన అణువులని పరిశీలించాలి. ఈ సరళ అణువుల మీద రసాయనికంగా చర్యలు జరిపి సుపరిచిత పద్ధతులతో వాటిని తయారుచేసే ప్రయత్నాలు చెయ్యాలి. ఆ విధంగా లెవీన్ సూచించిన నిర్మాణాన్ని సంయోజించవచ్చు. అలా సంయోజించబడ్డ అణువుల లక్షణాలని పరిశీలించవచ్చు. అలా తయారైన అణువులు న్యూక్లిక్ ఆసిడ్ల నుండి వచ్చిన న్యూక్లియోటైడ్లేనని తేలితే లెవీన్ చెప్పింది నిజం అయినట్టే.

అలెగ్జాండర్ రాబర్టస్ టాడ్ (1907–1997) అనే స్కాటిష్ రసాయన శాస్త్రవేత్త 1938లో ఈ సమస్య మీద పని చెయ్యడం మొదలుపెట్టాడు. న్యూక్లియోటైడ్లన్నీ సంయోజించి లెవీన్ ఊహించిన నిర్మాణం సరైనదేనని నిరూపించాడు. ఈ కృషికి ఫలితంగా 1957లో టాడ్‌కి రసాయన శాస్త్రంలో నోబెల్ బహుమతి దక్కింది.

(లెవీన్ సూచించిన భావాలని నిరూపించినందుకు టాడ్‌కి నోబెల్ బహుమతి వచ్చింది గాని, లెవీన్‌కి ఏమీ రాలేదని మీకు ఆశ్చర్యం కలగవచ్చు. సైన్సు ప్రపంచంలో వ్యవహారాలు ఎప్పుడూ న్యాయబద్ధంగా ఉండవని దీని వల్ల మనకు అర్థమవుతోంది. లెవీన్ పని చేసిన కాలంలో న్యూక్లిక్ ఆసిడ్ల ప్రాముఖ్యత ఎవరికీ అర్థం కాలేదు. వాటి ప్రాముఖ్యత గురించి తెలిసే నాటికి, వాటి మీద జరిగిన కృషికి పుష్కలంగా నోబెల్ పురస్కారాలు పంచి ఇచ్చే నాటికి, దాన్ని అందుకోడానికి లెవీన్ లేడు.)



# 2. న్యూక్లిక్ ఆసిడ్లా? ప్రోటీన్లా?

శరీరంలో న్యూక్లిక్ ఆసిడ్ల ప్రయోజనం ఏమిటి అని జీవరసాయన శాస్త్రవేత్తలు ఆలోచించసాగారు. వాటికి ఏదైనా ముఖ్య పాత్ర ఉందా?

ఉండొచ్చుననే అనిపించింది. న్యూక్లిక్ ఆసిడ్లను కనుక్కున్న తొలిరోజుల్లో మీషర్ చేపల శుక్ర కణాలలో న్యూక్లిక్ ఆసిడ్లను కనుక్కున్నాడు. ఈ శుక్ర కణాలు చాలా చిన్న వస్తువులు. అందులో తండ్రి జన్యువులకి మించి ఇంకేమీ పట్టడానికి స్థలం ఉండదు. ఈ శుక్ర కణం తల్లి జన్యువులు గల అండ కణంలోకి ప్రవేశిస్తుంది. అలా ఫలదీకృతమైన అండ కణం నుండి ఒక కొత్త జీవం ఉత్పన్నమవుతుంది. కాబట్టి న్యూక్లిక్ ఆసిడ్లకి అనువంశికతతో ఏదైనా సంబంధం ఉందా? అదే నిజమయితే అవి చాలా ముఖ్యమైనవే అనుకోవాలి.

1914లో రాబర్ట్ జోయాకిమ్ ఫాయిల్గెన్ (1884–1955) అనే జర్మన్ జీవ రసాయన శాస్త్రవేత్త ప్రత్యేకంగా డిఎన్ఏతో కలిసేది, ఆర్ఎన్ఏతో కలవనిది అయిన ఒక రంగు పదార్థాన్ని కనుక్కున్నాడు. 1923లో సజీవ కణాలు ఉన్న ముక్కల మీద ఆ రంగు పదార్థాన్ని ప్రయోగించాడు. ఈ రంగు వల్ల కణాలు విషపూరితం అయ్యాయి. కణాలలో కొన్ని భాగాలతో మాత్రమే ఆ రంగు సంయోగం చెందుతుంది. ఇతర భాగాల మీద ఏ ప్రభావమూ చూపదు. అది సంయోగం జరిపిన చోట అంతా చిక్కని ఎర్రని చార కనిపిస్తుంది. తక్కిన ప్రాంతాల్లో అంతా వర్ణరహితంగా ఉంటుంది.

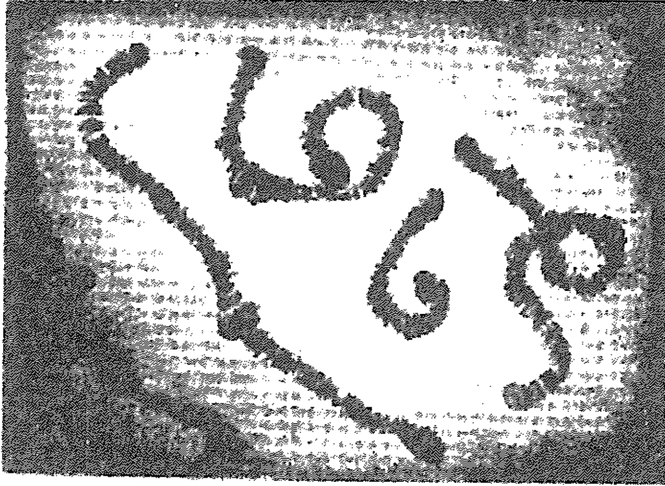
ఆ రంగు వల్ల డిఎన్ఏ ఉన్న ప్రాంతాలని చూబించే ఒక ఎర్రని పటం తయారయ్యింది అన్నమాట.

పరీక్షించిన ప్రతి వృక్ష కణంలోను, జంతు కణంలోను కూడా డిఎన్ఏ ఎప్పుడూ న్యూక్లియస్ లోపలే ఉన్నట్లు తెలిసింది.

ఇది ఇలా ఉండగా 1940లలో స్వీడెన్‌కి చెందిన టోర్బ్జార్న్ ఆస్కార్

కాస్పర్సన్ (1910-1997) అనే జీవ రసాయన శాస్త్రవేత్త మరి కొంచెం ముందుకి వెళ్ళాడు. డిఎన్ఏని మాత్రం విచ్ఛిన్నం చేస్తూ, ఆర్ఎన్ఏని ఏమీ చెయ్యని ఎంజైములు కొన్ని ఉన్నాయి. అలాగే ఆర్ఎన్ఏని మాత్రమే విచ్ఛిన్నం చేస్తూ డిఎన్ఏని ఏమీ చెయ్యని ఎంజైములు కూడా కొన్ని ఉన్నాయి. ఈ రెండు రకాల ఎంజైములని వివిధ రకాల కణాల మీద ప్రయోగించాడు కాస్పర్సన్. ఆ విధంగా కేవలం డిఎన్ఏ మాత్రమే గల కొన్ని కణాలని, అలాగే కేవలం ఆర్ఎన్ఏ మాత్రమే గల మరి కొన్ని కణాలని సిద్ధం చెయ్యగలిగాడు. ఇప్పుడు ఈ రెండు రకాల కణాల మీద అతినీల కాంతిని ప్రసరించాడు. అప్పుడు రెండు రకాల న్యూక్లిక్ ఆసిడ్లు అతినీల కాంతికి వేరు వేరు రకాలుగా స్పందించాయి. ఆ చర్యను బట్టి కణంలో డిఎన్ఏ గాని, ఆర్ఎన్ఏ గాని ఎక్కడున్నాయో కచ్చితంగా చెప్పగలిగాడు కాస్పర్సన్.

కేంద్రకంలో ఉండే డిఎన్ఏ అంతా నిజానికి క్రోమోజోములలోనే నిక్షిప్తమై ఉందని కూడా కనుక్కున్నాడు. అందుకు భిన్నంగా ఆర్ఎన్ఏ మాత్రం కేంద్రకానికి బాహ్యంగా సైటోప్లాజంలో ఉంటుందని కనుక్కున్నాడు.



**నుసిపురుగుల (ఫ్రూట్ ఫ్లై) క్రోమోజోములు**



కాని ఇంకా నిశితంగా పరిశీలిస్తే కొంత ఆర్ఎన్ఏ కేంద్రకంలోను, అలాగే కొంత డిఎన్ఏ సైటోప్లాజంలోను ఉన్నట్లు కూడా తెలిసింది. ఏదేమైనా డిఎన్ఏలో ఇంచుమించు మొత్తం కేంద్రకంలోను, ఆర్ఎన్ఏలో ఇంచుమించు మొత్తం సైటోప్లాజంలోను ఉన్నట్లు తెలిసింది.

అప్పటికే కేంద్రకంలో ఉండే క్రోమోజోముల గురించి శాస్త్రవేత్తలకి బాగా అర్థమైపోయింది. ఈ క్రోమోజోములు అతి చిన్న వస్తువులు. కొంచెం సేమ్యా తీగల్లా ఉంటాయి. అనువంశికతలో అవి ముఖ్య పాత్ర ధరిస్తాయి. ఈ క్రోమోజోములలోనే అనువంశిక సమాచారం అంతా ఉంటుంది. తల్లిదండ్రుల నుండి పిల్లలకి సంక్రమించే లక్షణాలన్నిటినీ పొందుపరిచే జన్యువులు ఈ క్రోమోజోములలోనే ఉంటాయి.

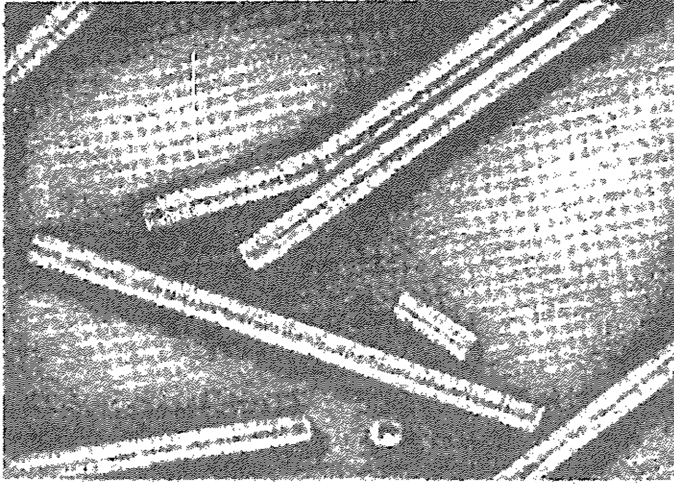
మరి డిఎన్ఏ అంతా క్రోమోజోములలోనే ఉంటుంది కాబట్టి డిఎన్ఏకి అనువంశికతకి సంబంధం ఉన్నట్లు అనిపించింది.

అయితే ఒకటి. జీవరాసులు అన్నిటిలోను కణాలు ఉండవు. కణాలకన్నా అతి చిన్నవైన వైరస్‌లు అనే వస్తువులు ఉన్నాయి. అవి కణాలలోకి ప్రవేశించి అక్కడ విశృంఖలంగా పునరుత్పత్తి చెందుతాయి. వాటిని పోలిన మరిన్ని వైరస్‌లని ఉత్పత్తి చేస్తాయి. వైరస్‌లు అనువంశికంగా తమని పోలిన ప్రతిరూపాలని వాటికవి చేసుకోగలుగుతున్నాయి అంటే అలా చెయ్యడానికి వాటిలో ఏదో యంత్రాంగం ఉండి ఉండాలి. ఇంతకీ ఏమిటా యంత్రాంగం?

చిట్టచివరికి కేవలం వైరస్ పదార్థం మాత్రమే ఉండి, కణాంశాలు ఏకోశానా లేని వైరస్ పదార్థాన్ని నిర్మించగలిగారు రసాయన శాస్త్రవేత్తలు. వైరస్‌లో కచ్చితంగా ఏముందో తెలుసుకునే అవకాశం అంతవరకు దొరకలేదు. వెండెల్ మెరెడిత్ స్టాన్లీ (1904-1971) అనే అమెరికన్ జీవరసాయన శాస్త్రవేత్త తొలి వైరస్ పదార్థాన్ని సాధించాడు. పొగాకు మొక్కల్లో తెగులు పుట్టించే పొగాకు మొసాయిక్ వైరస్‌ని అతడు పరీక్షించదలచాడు. 1935లో అతడు వైరస్ సోకిన పొగాకు ఆకులను నూరిన ముద్ద నుండి సన్నని,

సూదుల్లాంటి స్ఫటికలని వేరుచెయ్యగలిగాడు.

ఆ స్ఫటికలలో ఉన్నది శుద్ధమైన పొగాకు మొసాయిక్ వైరస్. వాటిలో ఉన్నదంతా ప్రోటీన్ పదార్థమే. శుద్ధి చేసి, వేరు చేసిన వైరస్ పదార్థంలో ఉన్నది ప్రోటీన్ పదార్థమేనని ఆ తరువాత కూడా ప్రతి సందర్భంలోనూ తేలింది. ఈ ఆవిష్కరణలకి ప్రతిఫలంగా 1948లో స్టాన్లీ రసాయన శాస్త్రంలో నోబెల్ బహుమతిని పంచుకున్నాడు.



పొగాకు మొసాయిక్ వైరస్

వైరస్‌లలో ఉన్నది ప్రోటీన్ పదార్థం అని తెలిసిన అనతి కాలంలోనే అందులో పలు రకాల ప్రోటీన్‌లు ఉన్నాయని తెలిసింది. 1937లో ఫ్రెడెరిక్ చార్లెస్ బాడెన్ (1908-1972) పొగాకు మొసాయిక్ వైరస్‌లో ప్రోటీన్‌తోబాటు ఆర్ఎన్ఏ కూడా ఉందని కనుక్కున్నాడు. ఆ నాటినుండి వైరస్‌లన్నిటిలోను న్యూక్లిక్ ఆసిడ్‌లు ఉంటాయని పదే పదే నిర్ధారణ అవుతూ వచ్చింది. కాస్త సరళమైన వైరస్‌లలో ఆర్ఎన్ఏ మాత్రమే ఉంటుంది. కొంచెం సంక్లిష్టమైన వైరస్‌లలో డిఎన్ఏ ఉంటుంది. కొన్నిట్లో రెండూ ఉంటాయి.

కణాలకి పరిమితం కాకుండా స్వేచ్ఛగా సంచరిస్తున్న



క్రోమోజోములుగా వైరస్‌లని ఊహించుకోవచ్చు. వైరస్ ఒక కణం మీదకి దాడి చేసినప్పుడు, ఆ కణంలోని వ్యవహారాల నియంత్రణని కణంలో ఉండే క్రోమోజోముల నుండి కాజేసి స్వాధీనం చేసుకుంటుంది.

క్రోమోజోములలోగాని, వైరస్‌లలోగాని అనువంశికతను, కణాలలో సామాన్య వ్యవహారాలని నియంత్రించే శక్తిగల లక్షణాలు ఎక్కడినుంచి వస్తున్నాయి? క్రోమోజోములలోగాని, వైరస్‌లలోగాని ఉన్నది డిఎన్ఏ, ప్రోటీన్ మాత్రమే కాబట్టి, ఈ లక్షణాలన్నీ డిఎన్ఏ వల్లగాని, ప్రోటీన్ వల్లగాని, లేదా రెండింటి వల్లగాని సంక్రమిస్తూ ఉండొచ్చు.

తొలి దశలలో కణాలని నియంత్రించేది, అనువంశికతకి ఆధారభూతంగా ఉన్నది ప్రోటీన్ అణువులేనని శాస్త్రవేత్తలు అనుకునేవారు. డిఎన్ఏ ఏం చేసినా వాటి పని మహా అయితే ప్రోటీన్ అణువులకి సహకార సేవలు అందించడమేనని అనుకునేవారు.

అనువంశికత విషయంలో ప్రోటీన్లదే ప్రథమ పాత్ర అనుకోవడానికి బలమైన కారణాలు ఉన్నాయి. ఇంచుమించు ఒక శతాబ్ద కాలంపాటు జీవపదార్థంలో అత్యంత సంక్లిష్టమైన అణువులు ప్రోటీనులేనని శాస్త్రవేత్తలు నమ్ముతూ వచ్చారు. జీవపదార్థంలోనే కాకుండా అంతటి సంక్లిష్టమైన అణువులు మరకెక్కడా లేవని అనుకున్నారు.

ప్రోటీన్ అణువులు నిజంగానే బృహత్ అణువులు. ఒక్కొక్క అణువులోను కొన్ని వందల పరమాణువుల దగ్గరనుండి, కొన్ని వందల వేల పరమాణువుల వరకు ఉంటాయి. ప్రోటీనులు కాకుండా మరి కొన్ని బృహత్ అణువులు కూడా ఉన్నాయి. ఉదాహరణకి పిండి పదార్థంలోని అణువులు, కలపలో ఎక్కువగా ఉండే సెల్యులోజ్ పదార్థానికి చెందిన అణువులు మొదలైనవన్నీ బృహత్ అణువులే. కాని ప్రోటీనుల ముందు అవన్నీ దిగదుడుపేనని అనిపించింది.

బృహత్ అణువులని తేలికగా చిన్న చిన్న అంశాలుగా విడగొట్ట వచ్చు.

అలాంటి చిన్న అంశాలని పూసగుచ్చినట్లు మాలికలుగా కలిపి తిరిగి బృహత్ అణువులుగా కూర్చవచ్చు. సామాన్యంగా బృహత్ అణువులలో ఉండే చిన్న అంశాలన్నీ ఒకే జాతికి చెందినవై ఉంటాయి. ఉదాహరణకి పిండి పదార్థంలో ఉండే అంశాలు గ్లూకోజ్ అనే ఒక రకమైన సరళమైన చక్కెర అణువులే. అదే విధంగా సెల్యులోజ్‌ని కూడా గ్లూకోజ్ అణువులుగా విడగొట్టవచ్చు.

రసాయన శాస్త్రవేత్తలు ప్రయోగశాలలో తయారుచేయగల బృహత్ అణువులకి ప్లాస్టిక్కులు తార్కాణాలు. వీటిని సరళాంశాలుగా విడగొడితే అందులోని అణువులు ఒకటి రెండు జాతులకి మించి ఉండవు.

ప్రోటీన్‌లని కూడా సరళాంశాలుగా విడగొట్టవచ్చు. వాటినే అమినో ఆసిడ్లు అంటారు. అమినో ఆసిడ్లలో ఎన్నో జాతులు ఉన్నాయి. ఇరవై పైగా రకాలుగా ఉన్న అమినో ఆసిడ్ల మాలికలే ప్రోటీన్లు.

పిండి పదార్థం, సెల్యులోజ్, ప్లాస్టిక్ మొదలైన పదార్థాలు ఒకటి రెండు రకాల అణువులతో నిర్మితమై ఉంటాయి. తేడా అంతా మాలిక పొడవులోను, మాలిక ఆకృతిలో (అందులో శాఖలు ఉంటాయా, ఉండవా) మాత్రమే ఉంటుంది.

ప్రోటీన్ అణువులలోని అమినో ఆసిడ్ మాలికలలో తేడా అందులో అమినో ఆసిడ్ల రకాలలో మాత్రమే కాదు, వాటి కచ్చితమైన విన్యాసంలో కూడా ఉంటుంది. ప్రోటీన్లలోని అమినో ఆసిడ్లని కోటానుకోట్ల విన్యాసాలలో అమర్చవచ్చు. ఒక్కొక్క విన్యాసం ఒక్కొక్క ప్రోటీన్‌కి ప్రతీక.

అంటే ప్రతి ప్రాణిలోను – ప్రతి వ్యక్తిగత జీవిలోను – మరే ఇతర శరీరంలోను లేని ప్రత్యేకమైన ప్రోటీన్లు ఉండే అవకాశం ఉంటుంది. జీవరాశులలో అంత గొప్ప వైవిధ్యం ఉండడానికి, ప్రాణులు అనేకానేక రకాల పనులు చెయ్యగలగడానికి కారణం అంత వైవిధ్యం గల ప్రోటీన్ అణువులే అన్న భావన సమంజసంగా తోచింది.

లెవీన్ ప్రయోగాల ప్రకారం న్యూక్లిక్ ఆసిడ్లలో బృహత్ అణువులు



లేవు. వాటిలో నాలుగు రకాల న్యూక్లియోటైడ్‌లు మాత్రమే ఉన్నాయి. ఒక్కొక్క న్యూక్లిక్ ఆసిడ్‌లోను ఒక రకం న్యూక్లియోటైడ్ మాత్రమే ఉంటుంది అనిపించింది.

కణాలలో జరిగే గొప్ప వైవిధ్యం గల చర్యలన్నీ హెచ్చు సంఖ్యలో గల అనేక రకాల ఎంజైములు పని మీద ఆధారపడి ఉంటాయి. ఒక్కొక్క ఎంజైము ఒక ప్రత్యేక మోతాదులో మాత్రమే ఉండాలి. ఎంజైములలో ఉండేది ప్రోటీన్ అణువులే కాబట్టి, కణం దానికి కావలసిన ఎంజైములని దానికదే నిర్మించుకోగలదు కాబట్టి, ఈ ఎంజైములని నిర్మించడానికి కావలసిన సమాచారం (బ్లూ ప్రింట్) కణంలో ఎక్కడో ఉండి ఉండాలి.

ఒక ప్రోటీన్ అణువుకి బ్లూ ప్రింట్‌గా మనగలిగేటంత సంక్లిష్టత మరో ప్రోటీన్ అణువుకి మాత్రమే ఉంటుంది అనుకున్నారు. కేవలం నాలుగు న్యూక్లియోటైడ్లు గల డిఎన్ఏ అణువుల వల్ల అలాంటి బృహత్ కార్యం జరగడం అసంభవం అనుకున్నారు.

అయితే ఒక్కొక్క న్యూక్లిక్ ఆసిడ్ అణువులోను కేవలం నాలుగు న్యూక్లియోటైడ్లు మాత్రమే ఉంటాయని అనుకోవడంలో లెవీన్ దారుణంగా పొరబడ్డాడని తరువాత తెలిసింది. కణం నుండి న్యూక్లిక్ ఆసిడ్లని వెలికి తీయడానికి అతడు వాడిన పద్ధతులు చాలా మోటు పద్ధతులు. వాటి వల్ల ఆ అణువులు తునాతునకలై పోయేవి.

మరింత సున్నితమైన పద్ధతులతో న్యూక్లిక్ ఆసిడ్ అణువులని ఎలా వెలికి తీయాలో జీవరసాయన శాస్త్రవేత్తలు తెలుసుకోసాగారు. క్రమంగా వారికి ఇంకా ఇంకా పెద్ద అణువులు తారసపడ్డాయి. చిట్టచివరికి డిఎన్ఏలో కూడా బృహత్ అణువులు ఉన్నాయని, అవి ప్రోటీన్ అణువులకి తీసిపోకపోవడమే కాక, ప్రోటీన్‌ల కన్నా చాలా పెద్దవని తెలిసొచ్చింది.

ఇంత జరిగినా జీవ కణంలో అత్యంత ముఖ్యమైన అణువులు ప్రోటీన్‌లే అన్న భావనకి జీవరసాయన శాస్త్రవేత్తలు చాలా అలవాటు

పడిపోయారు. కాబట్టి ఎప్పటిలాగే డిఎన్ఏ అణువులని నిర్లక్ష్యం చేస్తూ వచ్చారు. కాని హఠాత్తుగా ఒకరోజు పరిస్థితులు తారుమారయ్యాయి.



# 3. విజేత పేరు డిఎన్ఏ

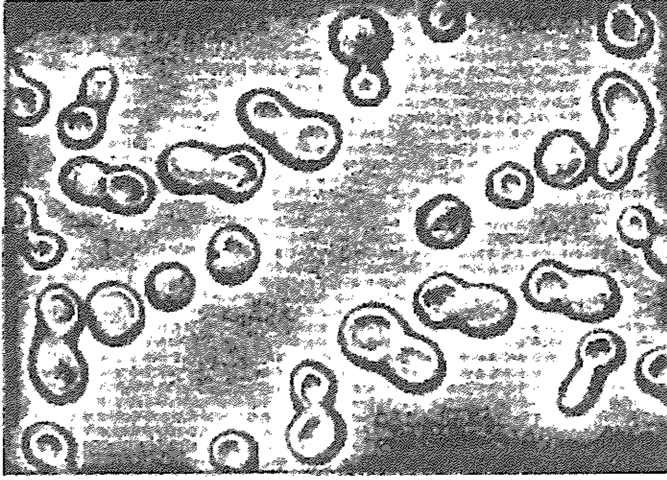
శాస్త్రవేత్తలు ఎంతో కాలంగా న్యూమోకోక్కై అనే బాక్టీరియాని అధ్యయనం చేస్తూ వస్తున్నారు. న్యుమోనియా అనే ఊపిరితిత్తుల రోగాన్ని ఈ న్యూమోకోక్కై కలుగచేస్తుంది (ఈ బాక్టీరియాకి ఏకవచనం న్యూమోకోకస్).

న్యూమోకోక్కైలో రెండు రకాలు ఉంటాయి. ఒక రకం బాక్టీరియాలో సంక్లిష్టమైన చక్కెరని పోలిన అణువులు గల నునుపైన పైతొడుగు ఉంటుంది. నున్నగా ఉంటుంది కాబట్టి దీనికి 'న్యూమోకోకస్ - యస్' అని పేరు. ఇక రెండవ జాతికి చెందిన న్యూమోకోకస్ బాక్టీరియాకి నునుపైన పైతొడుగు ఉండదు. కాబట్టి దాని ఉపరితలం గరుకుగా ఉంటుంది. దీని పేరు 'న్యూమోకోకస్ - ఆర్'.

న్యూమోకోకస్ - ఆర్‌లో నునుపైన పైతొడుగుని తయారుచేసుకోడానికి కావలసిన జన్యువు ఏదో లోపిస్తోంది. 1928లో ఫ్రెడెరిక్ రీస్ గ్రిఫిత్ (1879-1941) అనే బ్రిటిష్ జీవశాస్త్రవేత్త న్యూమోకోకస్-యస్ ని బాక్టీరియాలన్నీ పూర్తిగా చచ్చిపోయేదాక మరగకాచాడు. అప్పుడు చచ్చిపోయిన బాక్టీరియాలు ఉన్న ద్రావకాన్ని సజీవమైన న్యూమోకోకస్ ఉన్న జాడీలో కలిపాడు. పునరుత్పత్తి చెంది వృద్ధి చెందుతున్న న్యూమోకోకస్ బాక్టీరియాలు న్యూమోకోకస్-యస్ బాక్టీరియాలుగా మారడం కనిపించింది.

అంటే చనిపోయిన న్యూమోకోకస్-యస్‌లో ఇంకా నునుపైన పైతొడుగుని నిర్మించడానికి అవసరమైన జన్యువు సుస్థిరంగా, సక్రియంగా ఉందన్నమాట. ఆ జన్యువుని అది లోపించిన న్యూమోకోకస్-ఆర్ కి కలిపినప్పుడు ఆ బాక్టీరియా నునుపైన పైతొడుగుని తయారుచేసుకుని 'న్యూమోకోకస్-యస్'గా మారిపోయింది.

కాబట్టి ఆ రూపాంతరకారక తత్వాన్ని, అంటే ఆ జన్యువుని, కనుక్కోవాలని బయలుదేరారు శాస్త్రవేత్తలు. ఆ జన్యువు ఏదో ప్రోటీనే



న్యూమోకోకస్ బాక్టీరియా

అయ్యుంటుందని అందరూ అనుకున్నారు.

కెనడియన్-అమెరికన్ జీవశాస్త్రవేత్త ఆస్వాల్డ్ తియొడోర్ అవెరీ (1877-1955) కి ఈ సమస్య మీదకి మనసు మళ్ళింది. రూపాంతరకారక తత్వాన్ని కలిగిన ద్రావకాన్ని అంచెలంచెలుగా శుద్ధి చేస్తూ వచ్చాడు. అందులో చివరికి ఆ రూపాంతరకారక తత్త్వం తప్ప మరేమీ లేని స్థితికి తెచ్చాడు.

ఆ స్థితిలో ఇక ఆ ద్రావకంలో ఏముందో చూస్తే డిఎన్ఏ కనిపించింది. అందులో ప్రోటీన్ రవ్వంత కూడా లేదు. 1944లో ఆవెరీ, ఇద్దరు సహోద్యోగులతో కలిసి, డిఎన్ఏ మాత్రమే జన్యు పదార్థమని, అందులో ప్రోటీన్ ఛాయలు కూడా లేవని కనుక్కున్నాడు.

అదే నిజమైతే జన్యువులన్నీ డిఎన్ఏతోనే నిర్మితమై ఉండాలి. కణాల చర్యలని నియంత్రించే పదార్థం డిఎన్ఏనే. అనువంశిక లక్షణాలకి బ్లూప్రింట్ డిఎన్ఏలోనే ఉంది. ఆ పదార్థమే కణ విభజన జరిగినప్పుడు, ప్రత్యుత్పత్తి జరుపుకుంటున్న జంతువులలోను, మొక్కలలోను తల్లిదండ్రుల నుండి పిల్లలకి సంక్రమిస్తుంది.

అవెరీ ఆ ఆవిష్కరణ జరిపిన తరువాత కణాన్ని డిఎన్ఏనే



నియంత్రిస్తోందన్న భావన మీద శాస్త్రవేత్తలకి క్రమంగా నమ్మకం పెరిగింది. ఉదాహరణకి 1952లో అమెరికన్ జీవశాస్త్రవేత్త ఆల్ఫ్రెడ్ డే హెర్షీ (1908-1997) కణం మీదకి ఒక వైరస్ దాడి చేసినప్పుడు ఆ వైరస్ డిఎన్ఏ మాత్రమే కణంలోకి ప్రవేశిస్తుందని కనుక్కున్నాడు. వైరస్‌కి చెందిన ప్రోటీన్ మాత్రం బయటే ఉండిపోయింది. కణంలోకి ప్రవేశించిన వైరస్-డిఎన్ఏ అక్కడ తనకి పలు ప్రతిరూపాలని నిర్మించుకుంటోంది. అంతేకాదు. బయట మిగిలిపోయిన వైరస్ ప్రోటీన్‌ని పోలిన ప్రోటీన్ కూడా పెద్ద ఎత్తున కణం లోపలే నిర్మితమవుతోంది. దీనిని బట్టి ప్రోటీన్ల నిర్మాణానికి కావలసిన బ్లూప్రింట్ డిఎన్ఏలోనే ఉందని అర్థమవుతోంది.

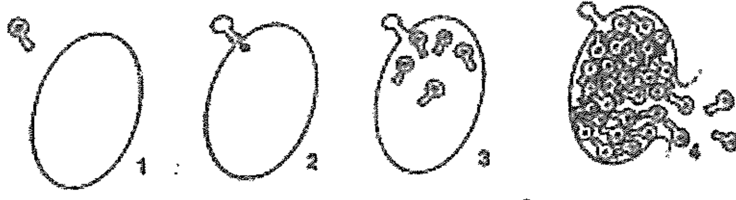
ఇప్పుడిక డిఎన్ఏ అణువులో బ్లూప్రింట్ కాగల ప్రాంతం ఎక్కడుందో తెలుసుకోవలసి ఉంది. డిఎన్ఏకి ఎన్ని ప్రతిరూపాలు తయారు అవుతున్నా ఆ బ్లూప్రింట్ చెక్కుచెదరకుండా ఎలా ఉంటోంది?

1944లో సరిగ్గా అవెరీ తన డిఎన్ఏ ఆవిష్కారాలని ప్రకటిస్తున్న కాలంలోనే, సంక్లిష్టమైన మిశ్రమాలని విశ్లేషించే ఒక కొత్త పద్ధతిని కనుక్కున్నారు. దాని పేరే కాగితపు వర్ణమానిని (పేపర్ క్రొమటోగ్రఫీ). దీని సహాయంతో ఒక రసాయన మిశ్రమాన్ని దాని అంశాలుగా విడదీయవచ్చు. అనతికాలంలోనే ఈ కొత్త విధానాన్ని డిఎన్ఏ విశ్లేషణలో వాడడం మొదలుపెట్టారు.

ఆస్ట్రేలియన్-అమెరికన్ జీవరసాయన శాస్త్రవేత్త ఎర్విన్ షార్గాఫ్ (1905-2002) డిఎన్ఏ అణువుని ఛిద్రం చేసి అందులోని ప్యూరీన్‌లని, పిరమిడ్లని పూర్తిగా వేరు చేశాడు.

అప్పుడు ప్యూరీన్‌ల (అడెనీన్ + గువనీన్), పిరమిడీన్ల (సైటొసీన్ + థైమీన్) మిశ్రమాన్ని వేరు వేరుగా తీసుకుని అందులో ఏఏ పదార్థం ఎంతెంత ఉందో విశ్లేషించాడు.

తాను పరీక్షించిన డిఎన్ఏ పదార్థంలో మొత్తం ప్యూరీన్ అణువుల




కణంపై దాడి చేసి దాన్ని నాశనం చేసిన వైరస్

సంఖ్య ఎప్పుడూ, పిరమిడీన్ల అణువుల సంఖ్యతో సరిసమానం అని 1948లో షార్గాఫ్ నిరూపించాడు. అంటే అడెనీన్ + గువనీన్ = సైటొసీన్ + థైమీన్ అన్నమాట. ఇంకా జాగ్రత్తగా విశ్లేషిస్తే అడెనీన్ అణువుల సంఖ్య ఎప్పుడూ సైటొసీన్ అణువుల సంఖ్యతో సమానంగా ఉంటోంది.

ఇలా ఎందుకు ఉండాలో షార్గాఫ్‌కి అర్థం కాలేదు. ఈ విశేషానికి డిఎన్ఏ విన్యాసంతో ఏదో సంబంధం ఉండాలని మాత్రం అనుకున్నాడు.

డిఎన్ఏ అణువులని శోధించడానికి మరో పద్ధతి డిఎన్ఏ మాత్రమే మిగిలేలా డిఎన్ఏ ఉన్న ద్రావకాన్ని శుద్ధి చెయ్యడం. అప్పుడు ఆ ద్రావకంలోంచి సన్నని డిఎన్ఏ తీగలని వెలికితీయాలి. ఆ తీగల మీదకి ఎక్స్- కిరణాలని ప్రసరించాలి. ఆ ఎక్స్- కిరణాలు డిఎన్ఏలో పరమాణువులని ఢీకొని ఎటో పరావర్తనం చెందుతాయి.

డిఎన్ఏ లాంటి పొడవైన అణువులో ఒకే విన్యాసం పదే పదే ఆవృత్తి చెందుతోంది అనుకుందాం. అంటే డిఎన్ఏ అణువులో ఒకచోట కొన్ని ప్రత్యేక పరమాణువుల కూటమి ఉంటే, కాస్త దూరంలో మళ్ళీ సరిగ్గా అదే పరమాణువుల కూటమి ఉంటుందన్నమాట. (మనం గచ్చుకి వేసే టైల్స్ డిజైన్‌లో లాగా ఒకే విన్యాసం మళ్ళీ మళ్ళీ వస్తుందన్నమాట.)

అలాంటి విన్యాసం గల డిఎన్ఏ అణువు మీద ఎక్స్-రేలు పడినప్పుడు, ఒకచోట ఉన్న పరమాణు కూటమినుండి ఏ దిశలో పరావర్తనం చెందుతాయో, కాస్త దూరంలో ఉన్న అలాంటి పరమాణు కూటమి నుండి కూడా సరిగ్గా అదే దిశలో పరావర్తనం చెందుతాయి. కాబట్టి పరావర్తనం



చెందుతున్న ఎక్స్-కిరణాలు ఇష్టం వచ్చిన దిశలలో పోకుండా, కొన్ని ప్రత్యేక దిశలలోనే ప్రసరిస్తాయి.

ఎక్స్-కిరణాలు ఫోటోగ్రాఫిక్ ఫిల్మ్ మీద ప్రభావాన్ని చూపిస్తాయి కాబట్టి వాటి వల్ల ఏర్పడ్డ చిత్రాన్ని ఫోటో తియ్యవచ్చు. డిఎన్ఏ అణువులోని పరమాణువులు ప్రత్యేక ఆవృత్తి లేకుండా ఉంటే వాటి మీద పడ్డ ఎక్స్-కిరణాలు రకరకాల దిశలలో పరావర్తనం చెందుతాయి. వాటి వల్ల ఏర్పడ్డ ఫోటో మబ్బులా అలుక్కుపోయినట్లు ఉంటుంది.

అలా కాకుండా డిఎన్ఏ అణువులలో చక్కని ఆవృత్తి గల విన్యాసం ఉంటే ఎక్స్-కిరణాలు కొన్ని ప్రత్యేక దిశలలోనే పరావర్తనం చెందుతాయి. అలా ఏర్పడ్డ చిత్రాన్నే ఎక్స్-రే డైఫ్రాక్షన్ చిత్రం అంటారు. అలాంటి చిత్రం ఆధారంగా డిఎన్ఏ అణువు విన్యాసంలో ఎలాంటి ఆవృత్తి ఉందో తెలుసుకోవచ్చు. అలాంటి సమాచారం నుండి డిఎన్ఏ త్రిమితీయ (పొడవు, వెడల్పు, ఎత్తు అనే మూడు పరిమాణాలు గల) నమూనాని తయారు చేసి, అందులో ఏ పరమాణువు ఎక్కడ ఉందో సూచించవచ్చు.

1951లో అమెరికన్ రసాయన శాస్త్రవేత్త లైనస్ కార్ల్ పాలింగ్ (1901–1994) ప్రోటీన్ విన్యాసం మీద పనిచేశాడు. ఎక్స్-రే డైఫ్రాక్షన్ పద్ధతులని, తన సొంత అధ్యయనాలని ఉపయోగించి ప్రోటీన్ విన్యాసాన్ని కనుక్కునే కృషి చేశాడు. అమినో ఆసిడ్ గొలుసులు హెలిక్స్ ఆకారంలో మెలి తిరిగి ఉంటాయని నిరూపించాడు. ఈ హెలిక్స్ ఆకారంలో ఉండే సామాన్య వస్తువుల ఉదాహరణగా స్ప్రింగులు, సర్పిలాకారపు మెట్లని (స్పైరల్ స్టెయిర్‌కేస్)



లైనస్ పాలింగ్

తీసుకోవచ్చు.

అయితే అత్యంత సరళమైన ప్రోటీన్లలోనే అమినో ఆసిడ్లు పొడవైన హెలిక్స్ ఆకారపు గొలుసుకట్టుగా ఏర్పడతాయి. ఎంజైములు వంటి ప్రోటీన్లలో అయితే ఈ గొలుసులు ఇంకా సంక్లిష్టమైన రీతుల్లో ముడుచుకుంటాయి. అయినా అసలు ముందు హెలిక్స్ ఆకారపు అణువుని అర్థం చేసుకుంటే, మరింత సంక్లిష్టమైన విన్యాసాలని పోగా పోగా అర్థం చేసుకోవచ్చు. ప్రస్తుతం ఎన్నో ప్రోటీన్ల విన్యాసాలు మనకి కచ్చితంగా తెలుసు.

పాలింగ్ సూచన జీవరసాయన శాస్త్రవేత్తలకి చాలా నచ్చింది. డిఎన్ఏ అణువులలో ఉండే న్యూక్లియోటైడ్ల గొలుసులు కూడా హెలిక్స్ ఆకారంలో మెలితిరిగి ఉంటాయని చాలా మంది అభిప్రాయపడ్డారు.



# 4. డబుల్ హెలిక్స్

డిఎన్ఏ హెలిక్స్ ఆకారంలో మెలితిరిగి ఉండవచ్చన్న దాని మీద చాలా ఆసక్తి చూపించిన ఇద్దరు శాస్త్రవేత్తలు ఉన్నారు. వాళ్ళు బ్రిటిష్ శాస్త్రవేత్త ఫ్రాన్సిస్ హారీ క్రాంప్టన్ క్రిక్ (1916–2004), అతడి అమెరికన్ సహోద్యోగి జేమ్స్ డువీ వాట్సన్ (1928–).

వాళ్ళు ఎన్నో రకాల హెలిక్స్ విన్యాసాలని పరీక్షించి చూశారు. కాని ఏవీ సరిపోలేదు. సరైన హెలిక్స్ విన్యాసంలో పరమాణువులన్నీ ఒకదాంతో ఒకటి పొందిగ్గా సరిపోవాలి. ఎక్స్–కిరణ డైఫ్రాక్షన్ సమాచారంతో సరిపోవాలి. న్యూక్లిక్ ఆసిడ్ ఎలా పనిచేస్తుందో కూడా ఆ విన్యాసం వివరించాలి. వాట్సన్, క్రిక్‌లు ఎంత ప్రయత్నించినా ఆ అవసరాలన్నీ తీర్చే విన్యాసం ఏదీ తెలిసిరాలేదు.

వాళ్ళకి కావలసింది శుద్ధ డిఎన్ఏకి సంబంధించిన ఎక్స్–కిరణ డైఫ్రాక్షన్ సమాచారం. కాని అలాంటి సమాచారాన్ని సాధించడం అంత తేలిక కాదు.


రోసలిండ్ ఫ్రాంక్లిన్

అప్పుడు కాకతాళీయంగా ఒక సంఘటన జరిగింది. క్రిక్, వాట్సన్‌లు పనిచేస్తున్న చోటే న్యూజీలాండ్‌కి చెందిన మారిస్ హ్యూ ఫ్రెడెరిక్ విల్కిన్స్ (1916–2004) అనే జీవరసాయన శాస్త్రవేత్త ఉన్నాడు. అతడు అత్యంత శుద్ధమైన డిఎన్ఏ పదార్థాన్ని తయారుచేశాడు. దాని నుండి వచ్చే ఎక్స్–కిరణ డైఫ్రాక్షన్ చిత్రాలు చాలా స్పష్టంగా ఉంటాయని

ఆశించారు. విల్కిన్స్‌తో పని చేసే రోసలిండ్ ఎల్సీ ఫ్రాంక్లిన్ (1920-1958) అనే బ్రిటిష్ రసాయన శాస్త్రవేత్త ఉండేది. విల్కిన్స్ శుద్ధి చేసిన డిఎన్ఏ తీగలతో ఈమె అత్యంత శ్రేష్ఠమైన ఎక్స్-కిరణ డైఫ్రాక్షన్ చిత్రాలని తయారుచేసింది.

ఫ్రాంక్లిన్ అత్యంత శ్రద్ధతో పనిచేసే శాస్త్రవేత్త. ఆమె తీసిన ఫోటోల అర్థాన్ని తెలుసుకోవడానికి ఆమె తొందరపడలేదు. వాటి అన్వయంలో పొరబడకూడదని ఆమె అభిప్రాయం. కాబట్టి తీరిగ్గా పరీక్షిద్దాంలే అని పక్కన పెట్టింది.

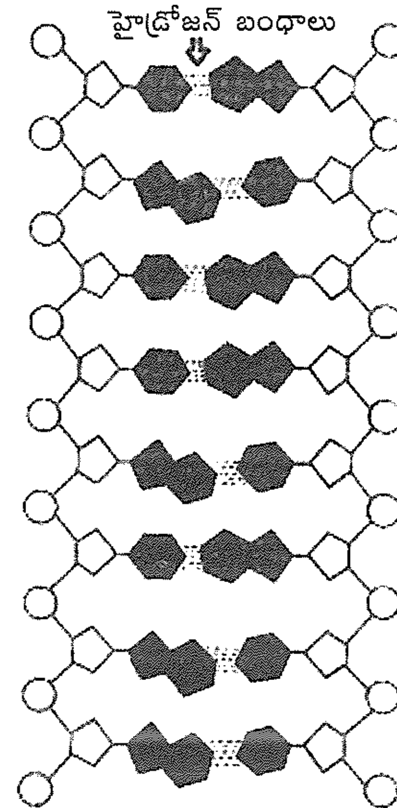
విల్కిన్స్ మాత్రం ఆమె అనుమతి తీసుకోకుండా వాట్సన్, క్రిక్‌లకి ఆ ఫోటోలు చూపించాడు. ఫ్రాంక్లిన్‌లాగా కాకుండా ఆ ఫోటోలని వాళ్ళు (ముఖ్యంగా వాట్సన్) వెంటనే ఉత్సాహంగా పరిశీలించారు. ఫోటోలని చూసీ చూడగానే డిఎన్ఏ విన్యాసం గురించి చక్కని అవగాహన ఏర్పడింది.

ప్రోటీన్ అణువులో అమినో ఆసిడ్ల గొలుసు ఉన్నట్లే, డిఎన్ఏలో న్యూక్లియోటైడ్ల జంట గొలుసులు ఉంటాయని వాట్సన్, క్రిక్‌లు కనుక్కున్నారు. రెండు గొలుసులలోను ప్యూరీన్లు, పిరమిడీన్లు ఒకదానికొకటి అభిముఖంగా ఉండేట్లుగా ఆ గొలుసులు అమరి ఉన్నాయని కూడా తెలుసుకున్నారు.

రసాయన శాస్త్రవేత్తలు హైడ్రోజన్ బంధాలు అని పిలిచే బంధాలతో రెండు న్యూక్లియోటైడ్ గొలుసులలోను ప్యూరీన్లు, పిరమిడీన్లు ముడిపడి ఉంటాయి. అణువులోని పరమాణువులని కలిపి ఉంచే ఇతర బంధాల కన్నా ఈ హైడ్రోజన్ బంధం మరింత బలహీనమైనది. సాధారణ పరిస్థితులలో ఈ రెండు గొలుసులని కలిపి ఉంచడానికి హైడ్రోజన్ బంధాలు చాలు. కాని కీలక పరిస్థితులలో ఈ రెండు గొలుసులని వేరు చెయ్యడానికి వీలవుతుంది.

ఈ రెండు గొలుసులని జిప్‌లో ఉండే రెండు పళ్ళ వరసలతో పోల్చవచ్చు. సాధారణ పరిస్థితులలో ఈ జిప్‌లో రెండు పళ్ళ వరసలు కలిసి





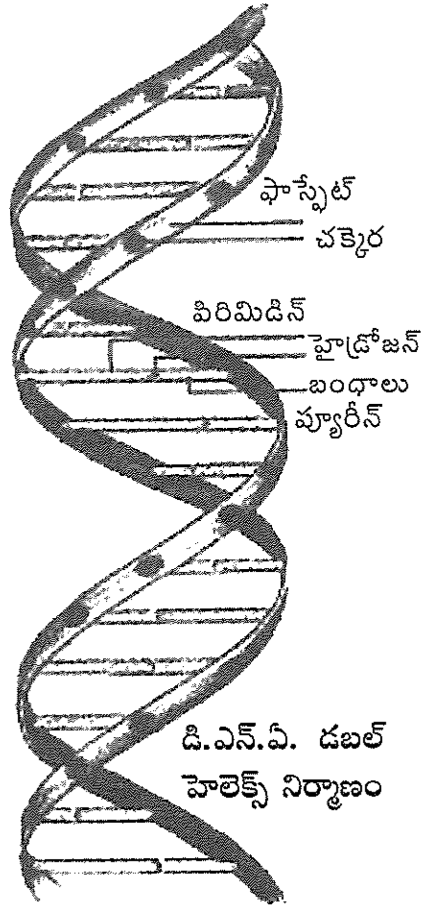

న్యూక్లియోటైడ్ గొలుసు    న్యూక్లియోటైడ్ గొలుసు

ఉంటాయి. కాని జిప్‌ని కొంచెం కిందకి లాగగానే రెండు పళ్ళ వరసలూ తేలికగా విడిపోతాయి.

న్యూక్లియోటైడ్ గొలుసుల మధ్య ఖాళీని భర్తీ చెయ్యాలంటే ఒక పక్క రెండు వలయాలు ఉన్న ప్యూరీన్‌కి అభిముఖంగా ఒకే వలయం ఉండే పిరమిడీన్ ఉండాలి. ఈ కారణం వల్ల న్యూక్లియోటైడ్ గొలుసుల మధ్య ప్రతి స్థానంలోను మూడు వలయాలు పట్టేటంత స్థలం మాత్రమే ఉంటుంది. కాని ప్రతి ప్యూరీన్‌కి ఒక పిరమిడీన్ అభిముఖంగా ఉంటే అంత స్థలం ఉండదు. ఎలా చూసినా అనుకున్న స్థానాల వద్ద రెండు గొలుసులు

అతుక్కోవు.

అడెనీన్, థైమీన్‌లని హైడ్రోజన్ బంధాలు కుదురుగా కలుపుతాయి. అలాగే గువనీన్, సైటోసీన్‌లని కూడా కలుపుతాయి. అయితే హైడ్రోజన్ బంధాలతో కూడుకున్న ఈ బంధం బలహీనంగా ఉంటుంది. న్యూక్లియోటైడ్ గొలుసులో ఒక పక్క న్యూక్లియోటైడ్ల వరస ఎలాగైనా ఉండొచ్చు. కాని అవతలి పక్క ఉన్న గొలుసులో అందుకు అనుకూలమైన వరస మాత్రమే ఉండాలి. ఉదాహరణకి ఒక పక్క గొలుసులో న్యూక్లియోటైడ్ల వరస A, G, A, t, t, c, G, G, G, c ఉన్నట్లయితే అవతలి పక్క న్యూక్లియోటైడ్ల వరస t, c, t, A, A, G, c, c, c, G అవుతుంది.



డి.ఎన్.ఏ. డబల్ హెలెక్స్ నిర్మాణం

డిఎన్ఏ అణువులో ఎప్పుడో షార్గాఫ్ కనుక్కున్నట్లు అడెనీన్లు, థైమీన్లు సమాన సంఖ్యలో ఉంటాయన్న విషయానికి, గువనీన్లు, సైటోసీన్లు సమాన సంఖ్యలో ఉంటాయన్న విషయానికి కారణం కనిపించింది.

చివరిగా మరో ముఖ్యమైన విషయం ఏమిటంటే డిఎన్ఏలో రెండు న్యూక్లియోటైడ్ల గొలుసులూ ఒకదాన్నొకటి పెనవేసుకుని డబుల్ హెలిక్స్ విన్యాసాన్ని సంతరించుకుంటాయి. మెలికలు తిరిగే జంట మెట్ల దారుల వంటివి ఆ గొలుసులు.



దాంతో సమస్య విడిపోయింది. 1953లో వాట్సన్, క్రిక్‌లు డిఎన్ఏ డబల్ హెలిక్స్ నిర్మాణాన్ని వర్ణించారు. వైజ్ఞానిక లోకంలో ఆ ఆవిష్కరణ గొప్ప సంచలనాన్ని రేకెత్తించింది. వాట్సన్, క్రిక్, విల్కిన్స్‌లు ముగ్గురూ 1962లో జీవక్రియాశాస్త్రం, వైద్యం రంగంలో నోబెల్ బహుమతిని పంచుకున్నారు. ఫ్రాంక్లిన్‌కి కూడా ఆ గౌరవం దక్కేదే. కాని అప్పటికి నాలుగేళ్ళ క్రితమే ఆమె మరణించింది.

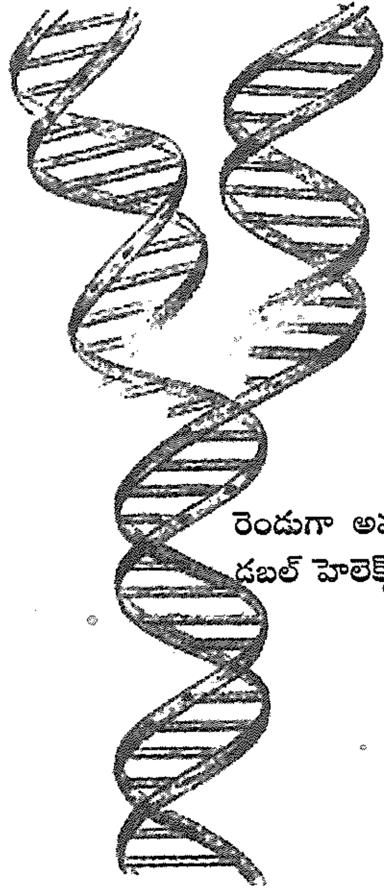
వాట్సన్, క్రిక్‌లు ప్రతిపాదించిన డిఎన్ఏ నిర్మాణాన్ని ఆధారంగా చేసుకుని కణవిభజన జరిగే సమయంలో డిఎన్ఏ అణువులు వాటి ప్రతిరూపాలని ఎలా తయారు చేసుకుంటాయో వివరించడానికి వీలయ్యింది. ప్రతి డిఎన్ఏ అణువు కచ్చితంగా దాని ప్రతిరూపాన్ని అది చేసుకోగలదు కాబట్టి ఒక చర్మపు కణం రెండు చర్మపు కణాలుగా విభజన చెందుతాయి. అందుకే అండ కణాలలో డిఎన్ఏలు తల్లి కణాలలో డిఎన్ఏని పోలి ఉంటాయి. అలాగే శుక్ర కణాలలో డిఎన్ఏ తండ్రి కణాలలో డిఎన్ఏలని పోలి ఉంటాయి. ఆ తల్లిదండ్రులకి పుట్టిన పిల్ల కణాలలో తల్లిదండ్రుల డిఎన్ఏ మిశ్రమం ఉంటుంది.

కణం స్థాయిలో ఈ వ్యవహారం అంతా ఇలా జరుగుతుంది: విభజన చెందడానికి సిద్ధంగా ఉన్న కణంలో డిఎన్ఏలో ఉన్న రెండు గొలుసులు దూరంగా జరగటం మొదలుపెడతాయి. ప్రతి గొలుసులోను ఉన్న న్యూక్లియోటైడ్లు కణం లోపల ఉన్న ఏకాంత న్యూక్లియోటైడ్ అణువులని పట్టుకుంటాయి.

ఉదాహరణకి డిఎన్ఏ అణువులో ఒక చోట థైమీన్–అడెనీన్ సమ్మేళనం విడిపోయినప్పుడు ఆ థైమీన్ అణువు దారేపోయే ఒక అడెనీన్ అణువుని చటుక్కున అందుకుంటుంది. థైమీన్‌తో అంత కచ్చితంగా అతుక్కుపోయే అణువు ఆ కణ మాధ్యమంలో ఒక్క అడెనోసీన్ మాత్రమే. అదే విధంగా అవతలి గొలుసు మీద ఉన్న అడెనీన్ అణువు అందుబాటులో

ఉన్న థైమీన్ అణువుని అందుకుంటుంది. అడెనీన్, థైమీన్‌లు కూడా ఒకదానితో ఒకటి సరిగ్గా సరిపోతాయి.

అదే విధంగా గువనీన్, సైటొసీన్ సమ్మేళనం దూరంగా జరిగేటప్పుడు, గువనీన్ ఒక సైటొసీన్ న్యూక్లియోటైడ్‌ని, సైటొసీన్ ఒక గువనీన్ న్యూక్లియోటైడ్‌ని అందుకుంటాయి. ఈ రెండు కొత్త న్యూక్లియోటైడ్లు గొలుసుకి అతుక్కుని కొత్త గొలుసుగా ఏర్పడతాయి. దీని ఫలితంగా డబల్ హెలిక్స్ పూర్తిగా విడిపోయే సమయానికి ఒక్కొక్క న్యూక్లియోటైడ్ గొలుసుకి దాన్ని పోలిన మరో న్యూక్లియోటైడ్ గొలుసు ఏర్పడుతుంది. ఆ విధంగా మొదట రెండు న్యూక్లియోటైడ్ గొలుసులు ఉన్న చోట నాలుగు న్యూక్లియోటైడ్ గొలుసులు ఏర్పడతాయి.



రెండుగా అవుతున్న డబల్ హెలెక్స్

ఆ విధంగా డిఎన్ఏ అణువు కణ విభజన జరిగేటప్పుడు దాని కచ్చితమైన ప్రతిరూపాన్ని అదే తయారు చేసుకుంటుంది. ప్రతి క్రోమోజోముకి ప్రతిరూపం ఏర్పడుతుంది. పుట్టిన రెండు శిశు కణాలకి ఒక కొత్త క్రోమోజోముల సముదాయం దక్కుతుంది. తల్లి కణంలో ఉన్న క్రోమోజోముల సముదాయానికి ప్రతిరూపమే ఈ రెండు



క్రోమోజోముల సముదాయాలు.

తల్లి అండకణంలో ఉన్న డిఎన్ఏ అణువుల నుండి, తండ్రి శుక్ర కణంలో ఉన్న డిఎన్ఏ అణువుల నుండి ఆవిర్భవించిన శిశుప్రాణికి తల్లిదండ్రులు ఇద్దరి నుండి కొన్ని లక్షణాలు సంక్రమిస్తాయి. ఈ విధమైన డిఎన్ఏ ప్రతికృతి నిర్దోషంగా జరిగితే శిశువు శారీరక లక్షణాలు పూర్తిగా తండ్రి పోలికలో గాని, పూర్తిగా తల్లి పోలికలో గాని, తల్లిదండ్రులు ఇద్దరి నుండి వచ్చిన మిశ్రమ లక్షణాలు గాని సంక్రమిస్తాయి.

అయితే ప్రకృతిలో లోపం లేని ప్రక్రియే ఉండదు. ప్రతికృతి జరిగే ప్రక్రియలో అప్పుడప్పుడు తప్పులు దొర్లుతాయి. ఏదో దారిన కొట్టుకుపోతున్న ఒక న్యూక్లియోటైడ్ పొరపాటున తప్పుడు స్థానంలో దిగబడవచ్చు. కొన్నిచోట్ల ఒక న్యూక్లియోటైడ్ తక్కువ రావచ్చు. లేదా అదనంగా ఒక న్యూక్లియోటైడ్ వచ్చి చేరవచ్చు. అలాంటి పొరబాట్ల వల్ల డిఎన్ఏలో శాశ్వతమైన మార్పులు రావచ్చు. ఆ మార్పులు భవిష్యత్తులో జరిగే ప్రతికృతులలో కూడా సుస్థిరంగా నిలిచిపోవచ్చు.

దీని ఫలితంగా వచ్చేదే ఉత్పరివర్తన. అలాంటి మార్పు వల్ల పుట్టిన కొత్త కణానికి గాని, ప్రాణికి గాని తల్లిదండ్రులలో లేని లక్షణాలు సంక్రమిస్తాయి. ఈ ఉత్పరివర్తనలే పరిణామ పురోగతికి బాటలు అవుతాయి.

# 5. త్రయాల నుండి అమినో ఆసిడ్ల వరకు

ప్రతికృతి వల్ల ఒక డిఎన్ఏ అణువు మరో డిఎన్ఏ అణువుగా ఎలా మారుతుందో మాత్రమే తెలుస్తుంది. కాని కణాలలోని చర్యలని, జీవరాశుల లక్షణాలని డిఎన్ఏ ఎలా నియంత్రిస్తాయి? కణాలలో రసాయన చర్యలని శాసించే ఎంజైములు ఉత్పత్తిని నియంత్రించడం ద్వారా డిఎన్ఏ అణువులోని న్యూక్లియోటైడ్ల వరసక్రమం, ప్రోటీన్‌లోని అమినో ఆసిడ్ల వరసక్రమాన్ని శాసిస్తుందేమో.

కాని అదెలా సాధ్యం? ప్రతి ఎంజైము అణువులోను ఇరవై రకాల వివిధ అమినో ఆసిడ్ల ప్రత్యేక వరసక్రమం ఉంటుంది. మరి ఇరవై రకాల అమినో ఆసిడ్ల సమాచారాన్ని నాలుగు న్యూక్లియోటైడ్లలోకి సంక్షిప్తం చెయ్యడానికి ఎలా సాధ్యమవుతుంది?

ఇది పూర్తిగా అసాధ్యం కాదు. ఉదాహరణకి ఇంగ్లీష్ భాషలో ఇరవై ఆరు అక్షరాలు మాత్రమే ఉంటాయి. కాని ఇంగ్లీషులో ఏ సందేశాన్నయినా మోర్స్ కోడ్‌లో పంపించడానికి వీలవుతుంది. మోర్స్ కోడ్‌లో రెండే అక్షరాలు, లేదా ప్రతీకలు – డాట్ (చుక్క), డాష్ (అడ్డగీత) – ఉంటాయి. పలు డాట్ల, డాష్‌ల కూటమి ఒక ఇంగ్లీషు అక్షరానికి సంకేతంగా నిలుస్తుంది. కేవలం డాట్లని, డాష్‌లని రకరకాలుగా కలుపుతూ ఏ అక్షరాన్నయినా వ్యక్తం చెయ్యవచ్చు.

1954లో వాట్సన్, క్రిక్‌లు డిఎన్ఏ అణువిన్యాసాన్ని ప్రతిపాదించిన కొద్ది కాలంలోనే జార్జ్ గామోవ్ (1904–1968) అనే రష్యన్-అమెరికన్ శాస్త్రవేత్త పలు న్యూక్లియోటైడ్లు కలిసి ఒక అమినో ఆసిడ్‌కి సంకేతంగా ఉన్నాయి అని ప్రతిపాదించాడు.

ఉదాహరణకి ఒక డిఎన్ఏ అణువులో న్యూక్లియోటైడ్ల గొలుసులోని వరసగా అధ్యయనం చేస్తున్నారని అనుకోండి. నాలుగు న్యూక్లియోటైడ్లలో



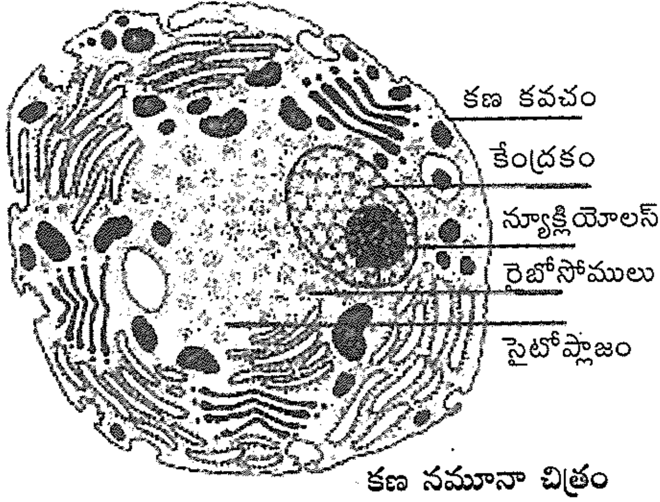
మొదటి న్యూక్లియోటైడ్ ఏదైనా కావచ్చు. అలాగే రెండవ న్యూక్లియోటైడ్ కూడా నాలుగు న్యూక్లియోటైడ్లలో ఏదైనా కావచ్చు. అంటే మొదటి రెండు న్యూక్లియోటైడ్ల వరసని పరిగణిస్తే మొత్తం 4x4 = 16 విన్యాసాలు ఉన్నాయన్నమాట. ఈ 16 విన్యాసాలని GG, GA, Gc, cG, Ac, At, ... ఇలా రాస్తూ పోవచ్చు. అన్ని రకాల ఏర్పాట్లని రాస్తే మొత్తం పదహారు అవుతాయి.

కాని పదహారు జతలు మనకి సరిపోవు. కాబట్టి ఇప్పుడు మూడు మూడేసి న్యూక్లియోటైడ్లని పరిగణిద్దాం. ఈసారి 4x4x4 = 64 విన్యాసాలు సాధ్యమవుతాయి. ఇవి అవసరమైన వాటి కన్నా చాలా ఎక్కువ. వీటిలో పలు విన్యాసాలు ఒకే అమినో ఆసిడ్‌కి సంకేతం అనుకుంటే సరిపోతుంది. ఆ విధంగా న్యూక్లియోటైడ్ త్రయాలు అమినో ఆసిడ్లకి సంకేతాలు కాగలవు. అలాగే ప్రోటీన్‌లో మొదటి అమినో ఆసిడ్‌కి గుర్తుగా ఒక త్రయం, చివరి అమినో ఆసిడ్‌కి గుర్తుగా మరో త్రయం ఉంటాయని ఊహించుకోవచ్చు.

మరి డిఎన్ఏ అణువులో ఉండే సమాచారం – అంటే వాటి న్యూక్లియోటైడ్ల త్రయాల వరసక్రమం – కణంలో ఎంజైములు తయారయ్యే చోటికి ఎలా చేరుతుంది? డిఎన్ఏ అణువులు కణంలోని కేంద్రకంలో ఉండే క్రోమోజోముల్లో ఉంటాయి. కాని ఎంజైములు కేంద్రానికి బయట సైటోప్లాజంలో తయారవుతాయి.

ఎంజైముల నిర్మాణ స్థానం గురించి 1956లో రుమానియన్-అమెరికన్ జీవశాస్త్రవేత్త జార్జ్ ఎమిలీ పాలడే (1912–2008) కనుక్కున్నాడు. ఇతగాడు తన కృషిలో ఎలక్ట్రాన్ మైక్రోస్కోప్ వాడాడు. సామాన్య మైక్రోస్కోపులు చేయలేనంతగా ఈ ఎలక్ట్రాన్ మైక్రోస్కోపులు కణ అంతరంగ అంశాలని పెద్దవిగా చూపించగలవు. అలాంటి పరిశీలనలలో ఇతడు కణం లోపల పెద్ద సంఖ్యలో చిన్న చిన్న నిర్మాణాలని కనుక్కున్నాడు. ప్రతి మానవ కణంలో ఇలాంటి నిర్మాణాలు రమారమి 1,50,000 ఉంటాయేమో. ఇక్కడే ఎంజైములు తయారవుతాయి. ఈ నిర్మాణాలలో బోలెడంత ఆర్ఎన్ఏ (రైబో

న్యూక్లీక్ ఆసిడ్) ఉంటుంది. అందుకే ఈ నిర్మాణాలకి రైబోసోములు అని పేరు పెట్టారు.



కణ నమూనా చిత్రం

ఈ కృషి ఫలితంగా పాలడేకి 1974లో జీవక్రియా శాస్త్రంలో, వైద్య శాస్త్రంలో నోబెల్ బహుమతి వచ్చింది.

కాని డిఎన్ఏలో ఉండే సమాచారం క్రోమోజోముల నుండి రైబోసోముల వద్దకి ఎలా చేరింది?

1961లో జాక్ లూసియేన్ మోనో (1910-1976), ఫ్రాన్సువా జాకోబ్ (1920-) అనే ఇద్దరు ఫ్రెంచ్ జీవ రసాయన శాస్త్రవేత్తలు పై ప్రశ్నకి సమాధానం ఆర్ఎన్ఏలో ఉందని సూచించారు. ఆర్ఎన్ఏ న్యూక్లియస్‌లోనే కాక సైటోప్లాజంలో కూడా ఉంటుంది. ముఖ్యంగా రైబోసోమ్‌లలో అయితే మరీ ఎక్కువగా ఉంటుంది. అంతేకాక ఆర్ఎన్ఏకి డిఎన్ఏని పోలిన అణు విన్యాసం ఉంటుంది. అయితే అందులో డీఆక్సీ రైబోస్‌కి బదులు రైబోస్ ఉంటుంది, థైమీన్‌కి బదులు యురసిల్ ఉంటుంది. డిఎన్ఏ అణువు ప్రతికృతి చెందినప్పుడు అప్పుడప్పుడు మరో డిఎన్ఏ అణువు తయారు కాకుండా ఒక ఆర్ఎన్ఏ అణువు తయారు కావచ్చునేమో?

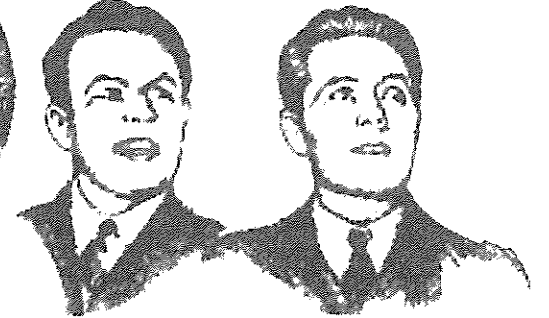


అలా తయారైన ఆర్ఎన్ఏ న్యూక్లియోటైడ్ గొలుసులో న్యూక్లియోటైడ్‌లన్నీ అచ్చం డిఎన్ఏ న్యూక్లియోటైడ్ గొలుసులో ఉన్నట్లే ఉంటాయి. అయితే థైమీన్ ఉన్నచోట యురసిల్ ప్రతిక్షేపించబడుతుంది. అలా తయారైన ఆర్ఎన్ఏ అణువు కేంద్రకం నుండి బయటపడుతుంది. కేంద్రకంలోని డిఎన్ఏ లోని సమాచారాన్ని రైబోస్ వద్దకి చేరవేయగల దూత అణువు అదే. అందుకే ఆ ఆర్ఎన్ఏ అణువుని దూత-ఆర్ఎన్ఏ అంటారు.

మోనో, జాకోబ్‌ల ప్రతిపాదన నిజమని తేలింది. ఈ కృషికి, న్యూక్లీక్ ఆసిడ్ల గురించి చేసిన ఇతర కృషికి ఫలితంగా జాకోబ్, మోనోలు జీవక్రియాశాస్త్రం, వైద్యశాస్త్రంలో నోబెల్ బహుమతిని పంచుకున్నారు.

నోబెల్ బహుమతి గ్రహీతలు

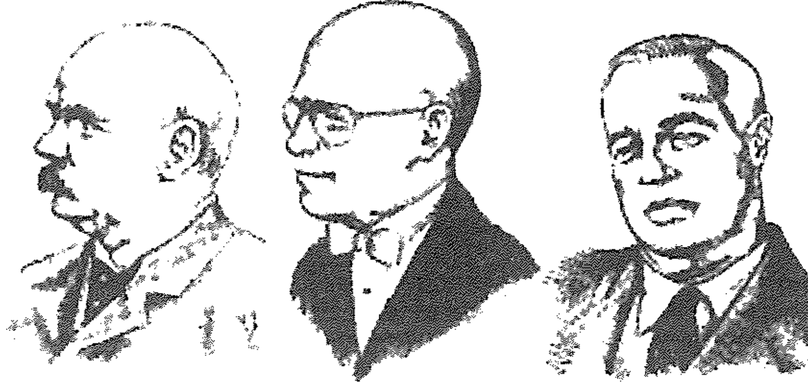

నోబెల్ పతకం


ఫ్రాన్సువా జాకోబ్ 1965    జాక్ మోనో 1965

ఇదిలా ఉండగా 1955లో స్పానిష్-అమెరికన్ జీవశాస్త్రవేత్త సెవెరో ఒచోహ (1905-1993) ఆర్ఎన్ఏ గొలుసులో న్యూక్లియోటైడ్లని కలిపి ఉంచే ఒక ఎంజైమును కనుక్కున్నాడు. ఈ ఆవిష్కరణ వల్ల కృత్రిమ ఆర్ఎన్ఏని చెయ్యడానికి వీలయ్యింది. ఒచోహ 1959లో జీవక్రియాశాస్త్రం, వైద్యశాస్త్రంలో నోబెల్ బహుమతిని పంచుకున్నాడు.

దూత-ఆర్ఎన్ఏ వ్యవహారం అంతా బాగా బోధపడ్డాక మార్షల్ వారెన్ నీరెన్బర్గ్ (1927-) అనే అమెరికన్ జీవరసాయన శాస్త్రవేత్త కృత్రిమ

## నోబెల్ బహుమతి గ్రహీతలు



ఆల్‌బ్రెక్ కొస్సెల్ 1910 | వెండెల్ స్టాన్లీ 1948 | అలెగ్జాండర్ టాడ్ 1957

ఆర్ఎన్ఏని తయారుచేశాడు. గొలుసు ఆరంభంలో ఏ న్యూక్లియోటైడ్లు ఉండాలో నియంత్రిస్తూ ప్రత్యేక త్రయాలు ఉండే దూత-ఆర్ఎన్ఏని తయారుచెయ్యగలిగాడు. అలాంటి ఆర్ఎన్ఏ నుండి ఉత్పన్నమైన ప్రోటీన్‌లోని అమినో ఆసిడ్ గొలుసులో ఏఏ అమినో ఆసిడ్లు ఉంటాయో పరిశీలించాడు. ఆ విధంగా నీరెన్బర్గ్ జెనెటిక్ కోడ్‌ని ఛేదించడంలో తొలి ప్రయత్నాలు చేశాడు. ఏ న్యూక్లియోటైడ్ త్రయం వల్ల ఏ అమినో ఆసిడ్ ఉత్పన్నం అవుతుందో అతడు కనుక్కున్నాడు. 1967 కల్లా సాధ్యమైన ప్రతి న్యూక్లియోటైడ్ త్రయానికి ఏ అమినో ఆసిడ్ అనుబంధితమై ఉందో తేలిపోయింది. జెనెటిక్ కోడ్ పూర్తిగా విశదీకరించబడింది. నీరెన్బర్గ్‌కి, అతడితో పాటు పనిచేసిన ఇండియన్-అమెరికన్ రసాయన శాస్త్రవేత్త హర్‌గోబింద్ ఖొరానా (1922-)కి జీవక్రియాశాస్త్రం, వైద్యశాస్త్రంలో నోబెల్ బహుమతిలో వంతు దక్కింది.

నీరెన్బర్గ్ జెనెటిక్ కోడ్ మీద పనిచేస్తున్న కాలంలోనే, మరో అమెరికన్ జీవరసాయన శాస్త్రవేత్త మహ్లోన్ బుష్ హోగ్లాండ్ (1921-) సైటోప్లాజంలో చిన్న ఆర్ఎన్ఏ అణువుల స్థానాలు నిర్ణయించే పనిలో ఉన్నాడు.

ఇవి రెండు కొసలు ఉండే అణువులు. ఈ అణువు ఒక కొసలో



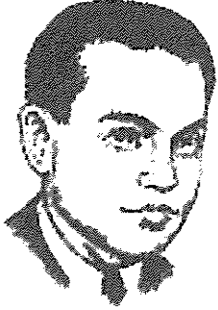
న్యూక్లియోటైడ్ త్రయం దూత-ఆర్ఎన్ఏ మీద ఉండే ఒక ప్రత్యేక త్రయంతో సరిపోతుంది. దీని అవతలి కొసలో ఉండే ఒక భాగం ఒక ప్రత్యేక అమినో ఆసిడ్‌తో అతుక్కుంటుంది. ఆర్ఎన్ఏ ఉండే న్యూక్లియోటైడ్ త్రయంలోని సమాచారాన్ని అమినో ఆసిడ్‌కి చేరవేస్తుంది కాబట్టి ఈ అణువుని బదిలీ-ఆర్ఎన్ఏ అంటారు.

ఇది ఎలా పనిచేస్తుందో ఊహించుకోవచ్చు. డిఎన్ఏ అణువులో ఒక భాగానికి ప్రతిరూపంగా దూత-ఆర్ఎన్ఏ తయారవుతుంది. ఆ దూత-ఆర్ఎన్ఏ కేంద్రకం నుండి బయటపడి రైబోసోమ్‌ని చేరుకుంటుంది. అక్కడ వివిధ బదిలీ-ఆర్ఎన్ఏ అణువులు దూత-ఆర్ఎన్ఏ అణువులో ఉండే వివిధ త్రయాలకి అతుక్కుంటాయి. దూత-ఆర్ఎన్ఏ అణువు మీద ప్రతి న్యూక్లియోటైడ్ త్రయానికి కచ్చితంగా, అనితరంగా అతుక్కునే ఒక బదిలీ-ఆర్ఎన్ఏ అణువు ఉంటుంది. ఈ బదిలీ-ఆర్ఎన్ఏ అణువులకి అవతలి కొసలో అమినో ఆసిడ్లు అతుక్కుంటాయి. అలా ఒకదాని తరువాత ఒకటి వస్తున్న అమినో ఆసిడ్లు చక్కగా ఒక గొలుసుకట్టుగా ఏర్పడతాయి. అలా ఏర్పడ్డ అమినో ఆసిడ్ల గొలుసునే మనం ఎంజైములని, ప్రోటీన్లని అంటున్నాం.

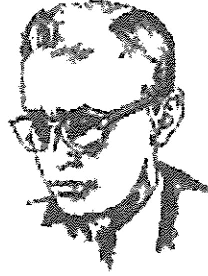
ఈ బదిలీ-ఆర్ఎన్ఏలని లోతుగా అధ్యయనం చేసినవాడు అమెరికన్ రసాయన శాస్త్రవేత్త రాబర్ట్ విలియం హోలే (1922-1993). 1962లో ఇతడు కొన్ని బదిలీ-ఆర్ఎన్ఏ జాతులని శుద్ధి చేశాడు. 1965లో ఇతడు కొన్ని న్యూక్లియోటైడ్లని కూర్చి కృత్రిమంగా ఒక బదిలీ-ఆర్ఎన్ఏని తయారుచేశాడు. 1968లో అతడు నీరెన్బర్గ్, ఖొరానాలతో పాటు నోబెల్ బహుమతిని పంచుకున్నాడు.

డిఎన్ఏ అణువులు కొన్ని సార్లు అనుకోని రీతుల్లో మారిపోతూ ఉంటాయి. 1946లో జర్మన్-అమెరికన్ జీవశాస్త్రవేత్త మాక్స్ డెల్బ్రూక్ (1906-1981), ఇటాలియన్-అమెరికన్ జీవశాస్త్రవేత్త సాల్వడోర్ ఎడ్వర్డ్

## నోబెల్ బహుమతి గ్రహీతలు


మార్షల్ నిరెన్‌బెర్గ్
1968


హరగోబింద్ ఖురానా
1968


రాబర్ట్ హోలే
1968

లూరియా (1912-1991)లు ఒక విచిత్రమైన విషయాన్ని కనుక్కున్నారు. కొన్ని సందర్భాలలో వైరస్‌లలోని డిఎన్ఏ అణువులు అకారణంగా చిన్నాభిన్నం కావడం కనిపించింది. అలాంటి పరిస్థితులలో ఒక వైరస్ నుండి వచ్చిన ఒక డిఎన్ఏ ముక్క మరో వైరస్ నుండి వచ్చిన మరో డిఎన్ఏ ముక్కతో కలిసి ఒక కొత్త వైరస్ తయారయ్యింది. ఈ ఫలితాన్ని ఇంచుమించు అదే సమయంలో హెర్షే కూడా సాధించాడు. 1969లో ముగ్గురూ జీవక్రియాశాస్త్రం, వైద్యశాస్త్రంలో నోబెల్ బహుమతిని పంచుకున్నారు.

## నోబెల్ బహుమతి గ్రహీతలు




మాక్స్ డెల్బ్రుక్
1969


సాల్వడోర్ లూరియా
1969



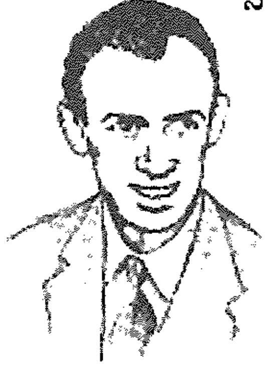
అయితే సహజంగా జరగడం కాకుండా ప్రయత్న పూర్వకంగా ఇలా డిఎన్ఏ అణువుని చిన్నాభిన్నం చెయ్యడానికి వీలవుతుందా? డిఎన్ఏ అణువులని కావలసిన రీతులో తెగగొట్టి తిరిగి కొత్త విన్యాసాలలో కలపడానికి శాస్త్రవేత్తలకి వీలవుతుందా?

డేనియల్ నాథెన్స్ (1928-1999), హామిల్టన్ ఒథనెల్ స్మిత్ (1931-) అనే ఇద్దరు అమెరికన్ జీవశాస్త్రవేత్తలు 1970 లోను, 1971 లోను డిఎన్ఏ అణువుని తెంచగల కొన్ని ఎంజైములని కనుక్కున్నారు. డిఎన్ఏలో కొన్ని ప్రత్యేక న్యూక్లియోటైడ్ల క్రమం వచ్చిన చోట ఈ ఎంజైములు డిఎన్ఏని తెగగొడతాయి. ఆ విధంగా డిఎన్ఏ అణువుని కొద్దిపాటి పెద్ద పెద్ద భాగాలుగా తెగగొట్టవచ్చు. కాబట్టి డిఎన్ఏ అణువు విన్యాసం కచ్చితంగా తెలిస్తే ఆ భాగాల విన్యాసం కూడా తెలిసినట్లే. నాథెన్స్, స్మిత్‌లు 1978లో జీవక్రియాశాస్త్రం, వైద్యశాస్త్రంలో నోబెల్ బహుమతిని పంచుకున్నారు.

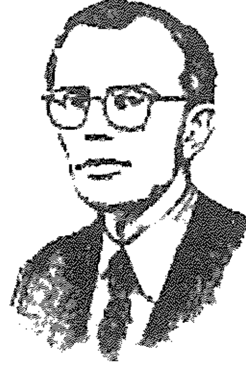
అది జరిగిన కొంత కాలానికే అమెరికన్ జీవరసాయన శాస్త్రవేత్త పాల్ బర్గ్ (1926-) డిఎన్ఏ ముక్కలని కలపగలిగే ఎంజైములని కనుక్కున్నాడు. ఈ కలయిక మూల డిఎన్ఏలో ఉన్నట్లే కాకుండా కొత్త రీతుల్లో సాధ్యం కాగలదు. ఆ విధంగా రెండు విభిన్న డిఎన్ఏ ముక్కలని నూతన రీతుల్లో కలిపి ప్రకృతిలో ఎక్కడా లేని కొత్త విన్యాసాలు గల రీకాంబినంట్- డిఎన్ఏ అణువులని తయారు చెయ్యవచ్చు. ఈ కృషికి ఫలితంగా 1980 సంవత్సరానికి రసాయన శాస్త్ర నోబెల్ బహుమతిని బర్గ్ పంచుకున్నాడు.

ఈ రీకాంబినంట్ డిఎన్ఏ పద్ధతులని ఉపయోగించి కొత్త జన్యువులు, కొత్త ఎంజైములు, సరికొత్త రసాయన సామర్థ్యాలు గల బాక్టీరియాలని పెంపొందించడానికి వీలవుతుంది. ఉదాహరణకి మధుమేహ (డయాబిటిస్ - దీనినే షుగర్ లేదా చక్కెరవ్యాధి అని వ్యవహరిస్తున్నారు) వ్యాధి మందుగా పని చేసే ఇన్సులిన్ అనే హార్మోన్‌ని ఉత్పన్నం చేసేలా బాక్టీరియాని

## నోబెల్ బహుమతి గ్రహీతలు


జేమ్స్ వాట్సన్
1962


ఫ్రాన్సిస్ క్రిక్
1962


మారిస్ విల్కిన్స్
1962

నియంత్రించవచ్చు. ఈ వ్యాధికి జంతువులనుంచి పొందిన ఇన్సులిన్‌ని కూడా వాడవచ్చు. కాని మానవ ఇన్సులిన్‌ని ఉత్పన్నం చేసేలా బాక్టీరియాని నియంత్రించటం మెరుగైన పద్ధతి.

ఇతర ప్రధానమైన పదార్థాల ఉత్పత్తికి, దారుణ కాలుష్యాన్ని నిరపాయ ద్రావకంగా మార్చడానికి, కొన్ని ప్రయోజనకరమైన రసాయన చర్యలని జరపడానికి కూడా బాక్టీరియాలని వాడవచ్చు.

అయితే ఇల్లలకగానే పండగ కాదు. ఇలాంటి పద్ధతుల వినియోగం వల్ల కొత్త కొత్త రోగాలని, విరుగుడు లేని మహమ్మారి రోగాలని కలుగచేసే బాక్టీరియాలు పుట్టుకొస్తే? ఇలాంటి పరిణామాలకి కూడా అవకాశం లేకపోలేదు. జీవశాస్త్రవేత్తలు ఈ సాధ్యతలని కూడా మనసులో పెట్టుకోవాలి.

తాను 125 సంవత్సరాల క్రితం కనుక్కున్న ఒక విచిత్రమైన మిశ్రమం వైరస్‌ల నుండి మనుషుల వరకు సమస్త ప్రాణలోకానికి ఆధారభూతమైన జీవపదార్థంలో అత్యంత కీలకమైన పదార్థం కాగలదని మీషర్ కలలో కూడా ఊహించి ఉండదు. ఆ అణువులని నిత్య నూతన రీతుల్లో కలుపుతూ జన్యు ఇంజినీరింగ్ అనే ఒక కొత్త శాస్త్ర విభాగానికి మనుషులు పునాదులు వేస్తారని



మీషర్ అనుకొని ఉండదు. నిన్న విచిత్రం అనుకున్నది నేడు వాస్తవం కావడం వైజ్ఞానిక చరిత్రలోనే ఒక విచిత్ర వాస్తవం. జన్యు ఇంజినీరింగ్ గురించి మరో పుస్తకమే అవుతుంది.

# విషయ సూచిక